



La compréhension des images tactiles chez les enfants porteurs d'un handicap visuel

Oriana Orlandi

► To cite this version:

Oriana Orlandi. La compréhension des images tactiles chez les enfants porteurs d'un handicap visuel. Psychologie. Université de Bourgogne, 2015. Français. NNT : 2015DIJOL006 . tel-01344453

HAL Id: tel-01344453

<https://theses.hal.science/tel-01344453>

Submitted on 12 Jul 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE DE BOURGOGNE

UFR Sciences Humaines

THESE

Pour obtenir le grade de
Docteur de l'Université de Bourgogne
Psychologie

Par

Oriana Orlandi

-10 juillet 2015-

La compréhension des images tactiles chez les enfants porteurs d'un handicap visuel

Directeur de Thèse

Professeur Annie Vinter

Membres du Jury

Philippe Claudet :	Directeur de LDQR, Talant.
Edouard Gentaz :	Professeur, Université de Genève, Rapporteur
Serge Portalier :	Professeur, Université de Lyon 2, Rapporteur
Arlette Streri :	Professeur émérite, Paris Descartes
Annie Vinter :	Professeur, Université de Bourgogne, Directrice

FEDER 2010-0431SGO009S04592 n° 36 552 – 2011

Allocataire de recherche contractuel n°6

Référence dossier Région n° 2011-9201AAO046S 4612 du 24 novembre 2011

Référence UB : X212CVHCP-2011



REMERCIEMENTS

Une thèse est une sacrée aventure. Une aventure initiatique dans laquelle on repousse ses limites, mais c'est avant tout une aventure humaine. Je tiens donc à remercier toutes les personnes qui m'ont conseillée, soutenue, et accompagnée tout au long de ce travail.

Je tiens tout d'abord à remercier Madame Annie Vinter, ma directrice de thèse. Merci pour la confiance que vous m'avez témoignée tout au long de ces années et pour votre soutien sans failles dans les bons moments mais aussi dans les moments de doutes.

Je remercie les membres du jury. Merci à Philippe Claudet et à la maison d'édition associative Les Doigts Qui Rêvent, partenaires de ce travail de thèse. Merci à messieurs Serge Portalier et Edouard Gentaz, pour avoir accepté de rapporter cette thèse. Un grand merci à Madame Arlette Streri, également membre du comité de suivi de thèse. Merci pour vos conseils avisés lors de mes rapports annuels.

Merci aussi à Monsieur Jean-Pierre Thibaut, membre du LEAD et du comité de suivi de thèse. Merci pour vos lectures averties de mes écrits et pour vos suggestions éclairées au cours de ces quatre années.

Mes remerciements vont également aux membres du LEAD. Je remercie tout particulièrement Arnaud, Bénédicte, Lucie, Laura, Julie, Margot et Alessandro pour leur bienveillance et leurs encouragements.

Mention spéciale à Corinne, Sandrine et Stéphane. Merci pour votre amitié.

Mention ultra-spéciale à Pascal. Merci Pascal pour ton travail, ta présence, ton soutien, et ta folle sagesse de ninja. Tu resteras mon collègue préféré !!

Merci à toutes les personnes qui ont rendu mon travail sur le terrain possible :

Merci à Solène et Marilyne, responsable de création et responsable de production à LDQR, pour votre disponibilité et votre patience lors de la réalisation des images tactiles.

Je remercie chaleureusement l'ensemble des établissements spécialisés qui m'ont ouvert leurs portes plus d'une fois :

- L'institut des Jeunes Aveugles « Les Charmettes » à Yzeure. Un grand merci à Marie-Luce Garapon, responsable pédagogique, pour son accueil chaleureux, son optimisme et la richesse de nos échanges.
- Le Centre Départemental pour Déficients Sensoriels de Rodez. Merci à Catherine Pomarède, enseignante spécialisée pour son accueil chaleureux et le partage de ses connaissances en matière d'éducation spécialisée à la déficience visuelle.
- Le Centre Alfred Peyrelongue d'Ambares et Lagrave. Merci à Régine Coulon, documentaliste, pour son accueil chaleureux et son enthousiasme.
- L'institut des Jeunes Aveugles à Toulouse. Merci à Marie-Christine Farré, chef de service et Monique Di Guglielmo, éducatrice spécialisée.
- Le Centre Lestrade à Ramonville Saint-Agne. Merci à Romain Fraysse et à Martine Gey, éducateurs spécialisés. Merci Martine, pour nos belles discussions et pour les magnifiques photos des petites mains qui explorent.
- Le Service d'Aide et de Soutien à l'Intégration à Cahors. Merci à Yasmina Bello, éducatrice spécialisée, d'avoir participé à cette belle aventure.
- Le service pour Jeunes déficients Visuels à Auray. Merci à Loïc Livenais, directeur de service et à Laure Constantin, psychomotricienne. Un merci tout particulier à Laure, pour ton accueil amical, le partage de ta vision de l'accompagnement des enfants et nos échanges autour de bonnes crêpes.
- Le Centre Pour Handicapés de la Vue, Lausanne, Suisse. Merci à Dominique Vallat et Anne-lise Schwab d'avoir rendu possible ma venue dans votre établissement et de m'avoir fait découvrir comment se passe l'accompagnement des enfants handicapés visuel en Suisse.
- Je remercie tout particulièrement l'institut des Hauts-Thébaudières à Vertou pour son partenariat assidu. Merci à Laurence Brossaud, directrice des enseignements, d'avoir toujours répondu positivement à mes nombreuses demandes d'intervention.

Mention très spéciale au service des Adaptations. Merci Chantal, de m'avoir ouvert et fait partager ton univers des adaptations. Merci à Cécile, éducatrice de jeunes enfants et ludothécaire, de m'avoir fait partager ta passion pour les jeux adaptés dans de grands éclats de rire. Merci à toutes les éducatrices de jeunes enfants et enseignantes spécialisées qui m'ont accompagnée dans les écoles et qui se sont toujours montrées disponibles quand j'en ai eu besoin : Cécile à nouveau, Isabelle, Cindy, Odile...

Merci à Annie, pour son « regard » profond, différent et musical sur le sens des images et les représentations chez les personnes aveugles.

Je garde la « meilleure » pour la fin. Un énorme merci à Myriam, éducatrice spécialisée, sans qui ce formidable partenariat avec l'institut des Hauts-Thébaudières n'aurait pas été possible. Merci pour tes talents de chef d'orchestre et d'organisation hors paires qui me laissent des souvenirs inoubliables de mes séjours de travail en Loire Atlantique. Merci pour ta gentillesse, ta disponibilité, ton écoute attentive, l'intérêt que tu as porté à mes travaux, ta passion pour les images tactiles. Nos discussions ont nourri ma réflexion et pour ça aussi je te remercie. Je souhaite que notre collaboration dure encore et que nous terminions ce fameux livre !

Je tiens à renouveler mes remerciements envers tous ces professionnels, qui m'ont fait partager leur vision de l'accompagnement du handicap visuel, et qui m'ont permis, je l'espère de garder un pied dans la réalité de terrain. Ce travail de thèse m'a permis de faire de belles rencontres, qui marqueront mon avenir professionnel.

Merci également à l'école maternelle Jean Jaurès à Lyon et à l'école élémentaire Drapeau à Dijon, qui se sont prêtées au jeu, et qui n'ont pas hésité à nous accueillir dans leurs locaux pour que les enfants puissent participer à nos travaux.

Je remercie bien sur tous les enfants qui ont touché, exploré les images tactile avec toujours beaucoup de curiosité et d'enthousiasme. Merci les enfants pour votre joie de vivre. Merci également aux familles, qui ont donné leur accord pour que leur(s) enfant(s) participe(nt) à ces études.

Je remercie mes amis les plus proches, qui m'ont soutenue, encouragée, changé les idées quand j'en avais besoin : Hermine, Fanny, Agathe, Myriam, Momo, Nelly, Vanessa, Anne-Cécile et Nicolas, merci les copains !!

La thèse n'aurait pas la même saveur sans mes amis du MAE : Charline, Sandrine, Ianou... Nous nous sommes rencontrés grâce à cette thèse, merci pour votre soutien à toute épreuve. Vous faites partie des rencontres inoubliables faites pendant ces quatre années. Merci les copains bis, et une mention spéciale pour vous mes poulettes !! Je vous adore.

Un énorme merci à ma famille, en particulier à mes parents et à ma sœur. Votre soutien et votre présence m'ont tour à tour boosté, porté, transporté quand j'en ai eu besoin. Ce travail n'aurait pas pu se faire sans votre aide. Je ne vous remercierai jamais assez pour tout ce que vous avez fait. Merci d'être là pour moi.

Enfin, merci à Oliver, ma lumière dans la pénombre, ma bouée en pleine mer, ma source d'inspiration au quotidien. Merci d'être resté présent, de m'avoir soutenu et aussi un peu (beaucoup) supporté pendant ce long travail. Merci à Anna, mon deuxième amour, qui est venue colorer notre vie. Merci d'avoir eu la patience et la compréhension nécessaire du haut de tes quelques mois afin de me donner du temps pour que je puisse terminer ce travail sereinement.

Cette thèse a été réalisée grâce à la bourse Jeune Chercheur Entrepreneur, financée par le conseil régional de Bourgogne et le FEDER, en partenariat avec LDQR que je remercie. Les travaux réalisés durant cette thèse ont bénéficié de subventions de l'ANR et de la Fondation de France. Je remercie l'Ecole Doctorale ES, pour la bourse de mobilité qui m'a été accordée et qui a permis de financer mes déplacements lors de colloques et congrès.

RESUME

L'objectif de cette thèse est de mieux comprendre comment les enfants déficients visuels (DV) appréhendent les images tactiles qui illustrent les livres qui leur sont destinés. Notre travail est organisé autour de deux axes de réflexion. Le premier axe se concentre sur l'enfant qui explore des images tactiles, alors que le second axe se focalise sur l'impact des propriétés de ces images sur le traitement haptique des enfants. Nos travaux ont porté sur des enfants atteints de différents degrés de handicap visuel mais sans troubles associés (en particulier, sans retard cognitif), en distinguant les enfants aveugles précoces des enfants malvoyants. Nous avons également comparé leurs performances à celles d'enfants voyants de mêmes âges. Les résultats obtenus montrent que l'expérience perceptive des enfants en fonction de leur degré de handicap visuel impacte fortement la compréhension de l'image explorée tactilement. Les capacités de conceptualisation (accès aux dimensions perceptives et sémantiques de l'image) sont différentes, tout comme les mouvements d'exploration mis en œuvre pour accéder à une bonne compréhension. Nous montrons également que les dimensions spatio-temporelles des explorations (temps, quantité d'exploration, appréhension de l'espace) sont déterminantes pour reconnaître ce qui est représenté par l'image, et que ces dimensions varient, à nouveau, en fonction du degré de handicap visuel. D'un point de vue fondamental, nous apportons des données concernant les spécificités du système perceptif haptique des enfants DV. D'un point de vue appliqué, nos travaux permettent de proposer des consignes pratiques relatives à la conception d'albums et des conseils pédagogiques concernant l'éducation au toucher à proposer à ces enfants.

Mots clés : enfants, handicap visuel, images tactiles, exploration haptique, perception haptique

ABSTRACT

The present PhD aims at understanding how Visual Impaired (VI) children process the tactile pictures that illustrate the tactile books specially designed for them. Our work is organized around two main axes of analysis. The first axis concentrates on the child who explores the tactile images, while the second axis focuses on the impact that the properties of these images can have on children's haptic processing. Our researches included children presenting various degrees of visual impairment but without any associated disorders (in particular, without any cognitive delay), distinguishing early blind children from children with low vision. We also compared their performance with those of sighted children of similar ages. The results showed that children's perceptive experience, varying according to their degree of visual handicap, strongly impacted their understanding of the tactually explored pictures. Their capacities of conceptualization (access to the perceptive and semantic dimensions of the pictures) were different, just like their movements of exploration carried out to attain a good understanding of the images. We also showed that some properties of the children's explorations (duration, quantity of exploration, space apprehension) were directly related to the way the children interpreted what was represented in the pictures. Again, these spatiotemporal features varied as a function of the degree of visual handicap. From a fundamental point of view, we provided interesting information concerning the specificities of the haptic perceptive system of the VI children. From an applied point of view, our work enabled to elaborate practical instructions relative to the design of tactile albums and educational advices concerning the education of touch to be proposed to these children.

Key words: children, visual impairment, tactile picture, haptic exploration, haptic perception

TABLE DES MATIERES

Remerciements	0
Résumé	5
Abstract	6
Table des matières	7
Liste de tableaux	10
Liste des figures	12
Liste des annexes	16
INTRODUCTION GENERALE	17
1 Littérature enfantine, images tactiles et cécité	18
1.1 Le livre illustré pour enfant : un objet d'éveil et de partage	18
1.2 L'image tactile : une image qui peut être vue avec les doigts	19
2 Perception tactile et cécité : spécificités et enjeux	22
2.1 La main : un organe plurifonctionnel	23
2.2 Du toucher à l'haptique : quand perception et action s'intègrent.	24
2.3 La perception haptique d'un point de vue développemental	25
2.3.1 La perception haptique chez les bébés	25
2.3.2 La perception haptique chez les enfants	27
3 Perception haptique des images tactiles	30
3.1 L'image tactile : un objet bidimensionnel	30
3.2 Percevoir la texture	32
3.3 Percevoir la forme	33
4 De la perception à la représentation	34
4.1 Le format des représentations : image versus proposition	35
4.2 Représentations mentale et cécité : un format intégré ?	36
5 Vers un modèle de travail	37
5.1 La médiation visuelle et l'appréhension haptique directe : <i>modeles explicatifs du traitement haptique</i>	38
5.2 Proposition d'un modèle dans une perspective intégrée	40
6 Notre démarche	41
6.1.1 1 ^{er} axe de réflexion : l'enfant qui explore	42
6.1.2 2 nd axe de réflexion : l'image explorée	43
PARTIE 1 :	44
Compréhension des images tactiles et spécificités des enfants qui explorent	44
Chapitre 1. Reconnaître les images tactiles	46
1. Introduction	46
1.1. Influence du guidage sémantique	46
1.2. Influence du statut visuel	47
1.3. D'un point de vue développemental	49

1.4.	Influence de l'expertise haptique	51
2.	Méthode	53
2.1.	Sujets	53
2.2.	Matériel	57
2.3.	Procédure	61
2.4.	Codage des données	62
3.	Résultats	65
3.1.	Reconnaissances et guidage sémantique	66
3.2.	Reconnaissances et statut visuel	67
3.3.	Reconnaissances et âge	71
3.4.	Reconnaissances et expertise Haptique	73
4.	Discussion	75
Chapitre 2.	Explorer les images tactiles	79
1.	Introduction	79
1.1.	Les procédures d'explorations : des mouvements spécifiques	80
1.2.	Explorer avec une ou deux mains ?	84
1.3.	Nos attentes	85
2.	Méthode	88
	Variables de l'exploration haptique	88
3.	Résultats	89
3.1.	Stratégies d'explorations et reconnaissances	90
3.2.	Stratégies d'exploration et statut visuel	93
3.3.	Stratégies d'exploration et guidage sémantique	98
3.4.	Développement des stratégies d'exploration	99
3.5.	Stratégies d'exploration et degré d'expertise tactile	106
4.	Discussion	107
Chapitre 3.	Spatio-temporalité des explorations	113
1.	L'exploration de l'image tactile, le temps et l'espace	113
1.1.	La perception de l'espace proche	113
2.1.	Temporalité des explorations	115
2.	Méthode	116
3.1	<i>Explore</i> : analyser ce que « voient » le bout des doigts	116
3.2	Contraintes méthodologiques inhérentes au logiciel	119
3.3	Variables spatio-temporelles de l'exploration haptique	121
3.	Résultats	122
3.1.	Aspects spatio-temporels et reconnaissances	123
3.2.	Aspects spatio-temporels et mouvements d'exploration	126
3.3.	Aspects spatio-temporels et statut visuel	128
3.4.	Aspects spatio-temporels et guidage sémantique	129
3.5.	Aspects spatio-temporels et expertise tactile	130
3.6.	Développement des aspects spatio-temporels	132
4.	Discussion	134
PARTIE 2 :		138
Compréhension des images tactiles et contraintes liées à l'image explorée		138
Chapitre 1.	Influence de l'orientation spatiale des éléments constituant l'image	140
1.	Introduction	140
2.	Méthode	143

2.1. Sujets	143
2.2. Matériel	146
2.3. Procédure	147
2.4. Données analysées	150
3. Résultats	151
3.1. Impact de l'orientation des images tactiles sur leur compréhension	151
3.2. Orientation préférée après exploration	158
4. Discussion	162
Chapitre 2. Forme versus texture : impact des propriétés de l'image tactile sur sa compréhension	167
1. Introduction	167
2. Méthode	172
2.1. Sujets	172
2.2. Matériel	175
2.3. Procédure	177
2.4. Données analysées	180
3. Résultats	182
3.1. Impact des propriétés de l'image tactile sur sa compréhension chez les enfants de 3 à 7 ans : condition « simple »	183
3.2. Impact des propriétés de l'image tactile sur sa compréhension chez les enfants de 7 à 12 ans : condition « complexe »	189
4. Discussion	192
Discussion générale	197
1. L'expérience perceptive : une influence forte sur la manière d'appréhender l'image tactile chez l'enfant	198
1.1. Enfants déficients visuels : spécificités perceptives et conceptuelles	201
1.2. Les enfants voyants : interférences entre vision et haptique	210
2. Préconisations pédagogiques concernant l'éducation au toucher et conseils pratiques pour la conception des albums tactiles.	213
2.1. Préconisations pédagogiques et éducation au toucher	214
2.2. Conseils pratiques pour la conception des images tactiles	217
3. Enfants aveugles et cognition incarnée : vers des images « haptiques »	220
Bibliographie	223
Annexes	239

LISTE DE TABLEAUX

<i>Tableau 1 Liste des établissements qui ont participé à la première expérimentation et nombre d'enfants par établissement.</i>	54
<i>Tableau 2 Caractéristiques des enfants ayant participé à l'étude sur l'influence des facteurs sujets sur la compréhension des images tactiles (expérience 1).</i>	55
<i>Tableau 3. Etiologies des déficiences visuelles selon les catégories OMS (expérience 1).</i>	57
<i>Tableau 4. Description du nombre d'éléments par image tactile et par type d'histoire.</i>	59
<i>Tableau 5. Description des textures par élément et par planche.</i>	59
<i>Tableau 6. Exemple des différents types de reconnaissances formulées par un sujet explorant la série d'images « maison ».</i>	64
<i>Tableau 7. Détails du calcul des différents scores de reconnaissances pour la série d'images « maison ».</i>	65
<i>Tableau 8. Illustration des Procédures d'Exploration haptiques (PE), les propriétés qui leurs sont spécifiques et les caractéristiques invariantes qui les définissent. (Illustrations issues de Lederman & Klatzky, 1987)</i>	82
<i>Tableau 9. Corrélations entre les stratégies d'exploration et les types de reconnaissances chez les enfants déficients visuels en condition AVEC guidage sémantique (corrélations significatives marquées à $p < .05$).</i>	91
<i>Tableau 10. Corrélations entre les stratégies d'exploration et les types de reconnaissances chez les enfants déficients visuels en condition SANS guidage sémantique (corrélations significatives marquées à $p < .05$).</i>	91
<i>Tableau 11. Corrélations entre les stratégies d'exploration et les types de reconnaissances chez les enfants voyants en condition AVEC guidage sémantique (corrélations significatives marquées à $p < .05$).</i>	92
<i>Tableau 12. Corrélations entre les stratégies d'exploration et les types de reconnaissances chez les enfants voyants en condition SANS guidage sémantique (corrélations significatives marquées à $p < .05$).</i>	92
<i>Tableau 13. Moyennes et erreurs-types des stratégies d'exploration en fonction du statut visuel.</i>	94
<i>Tableau 14. Moyennes des stratégies d'exploration chez les enfants aveugles, malvoyants et voyants en fonction du guidage sémantique.</i>	99
<i>Tableau 15. Corrélations entre les différents aspects spatio-temporels des explorations haptiques et les types de reconnaissances chez les enfants déficients visuels en condition AVEC guidage sémantique (corrélations significatives marquées à $p < .05$).</i>	123
<i>Tableau 16. Corrélations entre les différents aspects spatio-temporels des explorations haptiques et les types de reconnaissances chez les enfants déficients visuels en condition SANS guidage sémantique (corrélations significatives marquées à $p < .05$).</i>	124
<i>Tableau 17. Corrélations entre les différents aspects spatio-temporels des explorations haptiques et les types de reconnaissances chez les enfants voyants en condition AVEC guidage sémantique (corrélations significatives marquées à $p < .05$).</i>	125

Tableau 18. Corrélations entre les différents aspects spatio-temporels des explorations haptiques et les types de reconnaissances chez les enfants voyants en condition SANS guidage sémantique (corrélations significatives marquées à $p < .05$). _____	126
Tableau 19. Corrélations entre les différents aspects spatio-temporels des explorations haptiques et les comportements exploratoires chez les enfants déficients visuels (corrélations significatives marquées à $p < .05$). _____	127
Tableau 20. Corrélations entre les différents aspects spatio-temporels des explorations haptiques et les comportements exploratoires chez les enfants déficients voyants (corrélations significatives marquées à $p < .05$). _____	127
Tableau 21 Liste des établissements qui ont participé à la seconde expérimentation et nombre d'enfants par établissement. _____	144
Tableau 22 Caractéristiques des enfants ayant participé à l'étude sur l'influence de l'orientation des images tactiles sur leur compréhension (expérience 2). _____	145
Tableau 23. Etiologies des déficiences visuelles selon les catégories OMS pour les enfants participant l'expérience 2. _____	146
Tableau 24. Illustrations des 24 images tactiles présentées aux enfants. _____	147
Tableau 25. Distribution de chaque item à l'intérieur des quatre séries présentées aux sujets au cours de la partie « reconnaissance » de l'expérience 2. _____	148
Tableau 26. Répartition des sujets en fonction de leurs spécificités pour chaque série d'items de la partie « reconnaissance » de l'expérience 2. _____	149
Tableau 27. Liste des établissements qui ont participé à la troisième expérimentation et nombre d'enfants par établissement. _____	173
Tableau 28. Caractéristiques des enfants ayant participé à l'étude sur l'influence de la forme et de la texture des images tactiles sur leur compréhension (expérience 3). _____	174
Tableau 29. Etiologies des déficiences visuelles selon les catégories OMS pour les enfants participant à l'expérimentation sur l'influence de l'orientation des images tactiles sur leur compréhension (expérience 3). _____	175
Tableau 30. Détails des formes et textures des images tactiles présentées aux enfants âgés de 7 à 12 ans. _____	177

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Exemple d'illustrations thermoformée et thermogonflée. _____	19
Figure 2. Exemple d'illustration multi-matières dans un livre édité par LDQR (tirée du Roi de misère de M. Ziolo et D. Dufresne, Éditions Les Doigts Qui Rêvent). _____	20
Figure 3. Modèles explicatifs du traitement haptique par « médiation visuelle » et par « appréhension directe » d'après Klatzky et Lederman (1987) <i>The intelligent hand</i> (p.129) in <i>The Psychology of Learning and Motivation</i> , 21, New-York : Academic Press. _____	39
Figure 4. Modèle de fonctionnement cognitivo-exploratoire face à une image tactile _____	40
Figure 5 : Illustration des quatre séries d'images tactiles explorées par les enfants. _____	58
Figure 6. Dispositif expérimental _____	61
Figure 7. Images constituant la série « maison ». _____	63
Figure 8. Scores de reconnaissance Correctes Sémantiques (CS), Plausibles (P) et Incorrectes Sémantiques (IS) en fonction du guidage sémantique chez les enfants déficients visuels et chez les enfants voyants (pourcentages et erreurs-types). _____	66
Figure 9. Scores de reconnaissances Correctes Sémantiques (CS), Correctes Géométrique (CG), Correctes Texture (CT) et Incorrectes (I) en fonction du statut visuel (pourcentages et erreurs-types). _____	68
Figure 10. Scores de reconnaissances correctes texture (CT) en fonction de l'appartenance à la catégorie OMS (pourcentages et erreurs-types). _____	69
Figure 11. Scores de reconnaissances Correctes Sémantiques (CS), Correctes Géométriques (CG), Correctes Texture (CT) et Incorrectes (I) en fonction du statut visuel et du guidage sémantique (pourcentages et erreurs-types). _____	70
Figure 12. Scores de reconnaissances Correctes Géométriques (CG) en fonction de la catégorie OMS et du guidage sémantique (pourcentages et erreurs-types). _____	71
Figure 13. Scores de reconnaissances Correctes Texture (CT), Correctes Géométriques (CG) et Correctes Sémantiques (CS), en fonction de l'âge chez les enfants déficients visuels (aveugles + malvoyants) et les enfants voyants (pourcentages). _____	72
Figure 14. Scores de reconnaissances Correctes Sémantiques (CS), Correctes Géométriques (CG), Correctes Texture (CT) et Incorrectes (I) en fonction de l'expertise haptique (pourcentages et erreurs-types). _____	73
Figure 15. Scores de reconnaissances correctes sémantiques en fonction de l'expertise haptique et du statut visuel (pourcentages et erreurs-types). _____	74
Figure 16. Stratégies d'exploration haptique utilisées pour estimer la courbure (d'après Davidson, 1972) _____	80
Figure 17. Utilisation des différents modes d'exploration en fonction du statut visuel (pourcentages et erreurs-types). _____	95
Figure 18. Utilisation de la bimanualité en fonction de la catégorie OMS (pourcentages et erreur-types). _____	95

Figure 19. Utilisation d'explorations symétriques et nombre de procédures d'exploration en fonction du statut visuel (pourcentages et erreurs-types).	96
Figure 20. Utilisation d'explorations symétriques en fonction de la catégorie OMS (pourcentages et erreurs-types).	97
Figure 21. Utilisation des différentes PE en fonction du statut visuel (pourcentages et erreurs-types).	97
Figure 22 Pourcentages moyens d'utilisation des différents modes d'exploration en fonction de l'âge et du statut visuel.	101
Figure 23 Pourcentages moyens d'explorations symétriques et nombre moyen de procédures d'exploration par image en fonction de l'âge et du statut visuel.	103
Figure 24 Pourcentages moyens d'utilisation des différentes procédures d'exploration en fonction de l'âge et du statut visuel.	105
Figure 25 Pourcentages moyens d'utilisation des différents modes d'exploration en fonction de l'expertise haptique.	106
Figure 26 Pourcentages d'utilisation des PE suivi de contour et pince, et nombre de procédures d'exploration en fonction du degré d'expertise haptique.	107
Figure 27. Image 1 d'une vidéo (=image de référence) à laquelle seront comparées les autres images de cette vidéo (ici image 175).	117
Figure 28. Illustration de l'interface et des différentes fonctionnalités du logiciel Explore	118
Figure 29 Exemple de données (nombre de touches) obtenues par Explore pour une image représentant le corps et la tête d'un bonhomme.	119
Figure 30. Dispositif expérimental : caméra sur trépied filmant l'image aimanté sur un support métallique.	120
Figure 31. Illustration des modifications de couleurs appliquées aux images pour optimiser les fonctionnalités du logiciel Explore.	121
Figure 32. Illustration des variables exploration de la partie supérieure de l'image et Amplitude verticale de la première exploration sur l'interface d'Explore.	122
Figure 33. Temps d'exploration pour une planche (s) en fonction du statut visuel et de la catégorie OMS (moyennes et erreurs-types).	128
Figure 34. Amplitude de la 1 ^{ère} exploration (cm) en fonction du statut visuel et de la catégorie OMS (moyennes et erreurs-types).	129
Figure 35. Exploration moyenne de la partie supérieure de l'image chez les enfants DV en fonction de la présence du guidage sémantique (pourcentages et erreurs-types).	129
Figure 36. Exploration moyenne de la partie supérieure de l'image en fonction du statut visuel (pourcentages et erreurs-types).	130
Figure 37. Nombre de touches par cm ² en fonction l'expertise haptique (moyennes et erreurs-types).	131

Figure 38. Nombre de touches par cm ² en fonction du degré d'expertise haptique et du guidage sémantique (moyennes et erreurs-types).	131
Figure 39. Moyennes des variables spatio-temporelles en fonction de l'âge et du statut visuel.	133
Figure 40. Exemple du changement d'orientation de l'objet en fonction du type de reconnaissance	151
Figure 41. Reconnaissances gauches et reconnaissances droites en fonction du statut visuel et de l'âge (pourcentages moyens et erreurs-types).	153
Figure 42. Reconnaissances gauches et reconnaissances droites en fonction de la catégorie OMS (pourcentages moyens et erreurs-types).	154
Figure 43 Reconnaissances gauches et reconnaissances droites en fonction du niveau d'expertise haptique (pourcentages moyens et erreurs-types).	154
Figure 44. Reconnaissances correctes + plausibles gauches et droites en fonction du statut visuel, du groupe d'âge et du niveau d'expertise haptique (pourcentages moyens et erreurs-types).	155
Figure 45. Reconnaissances gauches et reconnaissances droites selon la catégorie d'objet et le statut visuel (pourcentages moyens et erreurs-types).	156
Figure 46. Reconnaissances gauches et reconnaissances droites selon la catégorie d'objet et le groupe d'âge (pourcentages moyens et erreurs-types).	157
Figure 47. Reconnaissances gauches et reconnaissances droites selon la catégorie d'objet et le niveau d'expertise (pourcentages moyens et erreurs-types).	157
Figure 48. Préférence de l'image orientée gauche ou droite en fonction du statut visuel et du groupe d'âge (pourcentages moyens et erreurs-types).	159
Figure 49. Préférence de l'image orientée gauche ou droite selon la catégorie d'objet et le statut visuel (pourcentages moyens et erreurs-types).	160
Figure 50. Préférence de l'image orientée gauche ou droite selon la catégorie d'objet et le groupe d'âge (pourcentages moyens et erreurs-types).	161
Figure 51. Préférence de l'image orientée gauche ou droite selon la catégorie d'objet et le niveau d'expertise haptique (pourcentages moyens et erreurs-types).	162
Figure 52. Illustration du matériel utilisé par Berger et Hatwell (1993, 1995, 1996) dans le tâches de classification hatpique.	171
Figure 53. Illustration des images tactiles présentées aux enfants âgés de 3 à 6 ans.	176
Figure 54. Illustration des deux sets d'images tactiles présentées aux enfants âgés de 7 à 12 ans.	177
Figure 55. Illustration d'une série d'images simples présentées aux enfants jusqu'à 7 ans (formes géométriques)	178
Figure 56. Illustration du principe appliqué pour choisir les images présentées aux enfants âgés de 6 à 12 ans.	179

Figure 57. Illustration des huit items tactiles à appareiller par les enfants âgés de 6 à 12 ans (points rouges).	180
Figure 58. Biais pour la forme en fonction du statut visuel et du type de forme (pourcentages et erreurs types).	183
Figure 59. Biais pour la forme en fonction de l'âge (pourcentages et erreurs types).	184
Figure 60. Appariement sur la forme ou la texture en fonction de la congruence de l'image tactile explorée (scores moyens et erreurs types).	185
Figure 61. Appariement sur la forme ou la texture en fonction de la congruence de l'image tactile explorée et du statut visuel (scores moyens et erreurs types).	186
Figure 62. Appariement sur la forme ou la texture en fonction du type de forme représenté sur l'image tactile explorée (scores moyens et erreurs types).	186
Figure 63. Appariement sur la forme ou la texture en fonction du type de forme représentée sur l'image tactile explorée et le statut visuel (scores moyens et erreurs types).	187
Figure 64. Appariement sur la forme ou la texture en fonction du type de texture utilisée sur l'image tactile explorée (scores moyens et erreurs types).	188
Figure 65. Appariement sur la forme ou la texture en fonction du type de texture utilisé sur l'image tactile explorée et du statut visuel (scores moyens et erreurs types).	189
Figure 66. Biais pour la forme en fonction du statut visuel et du type de forme (pourcentages et erreurs types).	190
Figure 67. Appariement sur la forme ou la texture en fonction du degré de complexité de la forme et du degré d'intensité de la texture (scores moyens et erreurs types).	191
Figure 68. Appariement sur la forme ou la texture en fonction du degré de complexité de la forme et du degré d'intensité de la texture selon le statut visuel (scores moyens et erreurs types).	192
Figure 69. Modèle de fonctionnement cognitivo-exploratoire face à une image tactile	200
Figure 70. Modèle de fonctionnement cognitivo-exploratoire des enfants aveugles face à une image tactile	207
Figure 71. Modèle de fonctionnement cognitivo-exploratoire des enfants malvoyants face à une image tactile	209
Figure 72. Modèle de fonctionnement cognitivo-exploratoire des enfants voyants face à une image tactile	212
Figure 73. Arbre dessiné par des enfants aveugles précoces (Vinter et al., 2013)	221
Figure 74. Paires d'images tactiles et d'images haptiques (arbre, couteau, fourchette). Prototypes réalisés en collaboration avec le service Adaptations de l'Institut les Hauts-Thébaudières (Vertou, Loire Atlantique).	222

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1	<i>Classification de la déficience visuelle par l'OMS</i> _____	240
ANNEXE 2	<i>Documents de liaison avec les parents</i> _____	241
ANNEXE 3	<i>Texte intégral des histoires lues dans l'expérience princeps en condition « avec histoire »</i> _____	245
ANNEXE 4	<i>Ensemble des réponses plausibles et incorrectes fournies lors de la phase reconnaissance de l'expérience 2 (influence de l'orientation spatiale)</i> _____	248

INTRODUCTION GENERALE

1 LITTÉRATURE ENFANTINE, IMAGES TACTILES ET CECITE

1.1 LE LIVRE ILLUSTRÉ POUR ENFANT : UN OBJET D'ÉVEIL ET DE PARTAGE

Dans la sphère littéraire, les albums pour enfants constituent une forme d'expression particulière. Ils ont leurs propres codes et confèrent à l'image un statut central dans le schéma narratif (Van Der Linden, 2003). En effet, images et mots entrent en résonnance, et le sens de l'histoire narrée dans le livre est entièrement dépendant de cette interaction texte-image. Véritables iconotextes (Nerlich, 1990), ces ouvrages font partie de l'univers enfantin. Leur double statut, qui mêle aspects ludiques et préoccupations pédagogiques, en fait des mediums qui ont un rôle important dans le développement de l'enfant. Objets d'éveil, ils nourrissent l'imaginaire et permettent aux enfants de découvrir la force des mots et des images. Objets de partage, ils ouvrent un espace relationnel entre enfants et adultes mais aussi entre enfants.

Les albums « jeunesse » permettent aux enfants de se familiariser avec le monde du livre. La manipulation de l'objet-livre ainsi que l'interaction avec l'adulte qui lit l'histoire à voix haute préparent l'enfant à l'apprentissage de la lecture. Les livres illustrés sont ainsi des vecteurs du développement de la conscience de l'écrit chez les jeunes enfants (Giasson & Thériault, 1983 ; Clay, 1991 ; Teale & Sulzby, 1989). La conscience de l'écrit, appelée également « littéracie émergente » (Comtois, 1997 ; Jalbert, Champagne, et al., 2005), correspond aux connaissances que les enfants développent sur la langue écrite avant d'apprendre à lire. Au contact des livres, les enfants comprennent peu à peu que les symboles abstraits qui correspondent à l'écrit ont un sens, et que ces symboles sont utilisés pour communiquer (Chelin, 1999 ; Koenig & Holbrook, 2000 ; Stratton, 1996 ; Wormsley, 1997). L'importance et la nécessité de la littérature enfantine ne font donc pas de doute, et depuis la fin du XIX^{ème} siècle, cette littérature n'a cessé d'évoluer et de se démocratiser pour le plaisir de tous, petits et grands.

De tous ? Pas tout à fait... Un public de jeunes lecteurs potentiels reste de côté. Aussi étonnant que cela puisse paraître, il y a encore aujourd'hui des enfants qui entrent en cours préparatoire sans avoir ouvert un livre de leur vie (Claudet, 2014). Ces enfants ont un handicap apparemment rédhibitoire: ils ne voient pas. Ils sont aveugles ou sévèrement malvoyants, depuis leur naissance ou à cause d'un accident ou d'une maladie. La question qui se pose alors est comment faire pour que les enfants atteints d'une déficience visuelle profitent, au même titre que ceux voyants, des images qui illustrent les livres ? Challenge paradoxal peut-on penser... Pas tant que cela, car s'il n'est pas possible de voir l'image

imprimée dans le livre avec ses yeux, il est possible de construire une image en relief de telle sorte qu'elle soit perçue par les doigts. On parle alors d'image tactile.

1.2 L'IMAGE TACTILE : UNE IMAGE QUI PEUT ETRE VUE AVEC LES DOIGTS

L'image tactile est une image construite en relief et qui est accessible par le toucher. Le plus souvent, c'est une image 2D visuelle, adaptée pour une mise en relief. Elle apparaît dans les livres destinés aux personnes aveugles au cours du XIX^{ème} siècle, sous l'influence notamment de Martin Kunz, directeur de l'Ecole des aveugles d'Illzach, près de Mulhouse, qui crée le premier atlas pour déficients visuels. Cependant, il faut attendre les années 1960 pour que les images tactiles commencent à avoir une place systématique dans les supports pédagogiques destinés aux enfants aveugles et malvoyants. C'est à cette époque que se développent deux procédés de fabrication d'images tactiles qui permettent une production rapide et à moindre coût : le thermoformage et le thermogonflage.

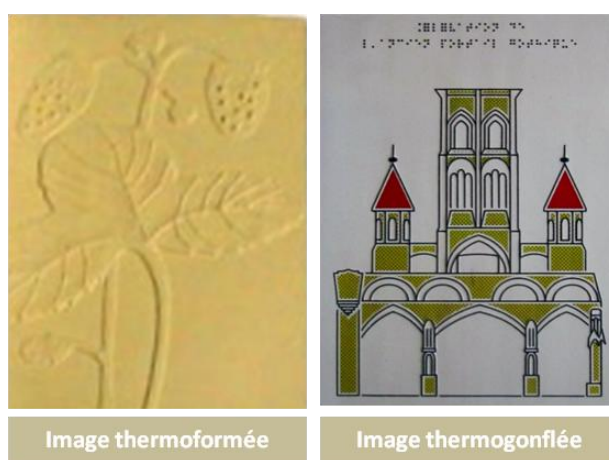


Figure 1. Exemple d'illustrations thermoformée et thermogonflée.

Le thermoformage consiste à reproduire une image en relief sur une feuille de plastique thermoformable. Pour cela, une feuille de plastique souple est appliquée sur une matrice en relief et sous l'effet de la chaleur, la feuille vient prendre la forme de la matrice. Le thermogonflage est une technique qui utilise un papier spécial, muni de microcapsules qui, lorsqu'elles sont en présence d'encre noire, éclatent au contact de la chaleur (dans un four spécifique ou en passant dans un photocopieur). Cependant, les images tactiles thermoformées

et thermogonflées restent peu ludiques car constituées exclusivement de textures monotones. Ces ensembles de traits, points et surfaces en relief, sont peu attractifs sous les doigts des jeunes enfants, et peu attrayants à la vue de leur entourage voyant.

Constatant le manque total d'accès des enfants déficients visuels aux albums illustrés et aux livres, une maison d'édition associative voit le jour dans les années 1990. Située près de Dijon, elle porte un nom évocateur : « Les Doigts Qui Rêvent » (LDQR). Depuis bientôt 20 ans, LDQR œuvre sous l'impulsion de son président, Philippe Claudet, pour développer des livres « tact-illustrés » adaptés aux enfants déficients visuels afin d'aider ces enfants à accéder à la conscience de l'écrit pour favoriser leur apprentissage de la lecture et leur intégration dans la société. La majorité des ouvrages produits par LDQR sont constitués d'images multi-matières. Ces illustrations sont élaborées avec différentes matières qui permettent de discriminer d'une part les différentes parties de l'objet et d'autre part les éléments présents sur la page. Une récente étude a d'ailleurs montré que les enfants aveugles comprennent mieux les illustrations multi-matières comparativement aux illustrations thermoformées et thermogonflées (Theurel, Witt, Claudet, Hatwell, & Gentaz, 2013).



Figure 2. Exemple d'illustration multi-matières dans un livre édité par LDQR (tirée du Roi de misère de M. Ziolo et D. Dufresne, Éditions Les Doigts Qui Rêvent).

Les livres tactiles illustrés se composent ainsi en générale à gauche, d'une page contenant le texte en « noir » et gros caractères (pour les publics malvoyants et voyant) et en braille (pour le public aveugle); à droite, d'une page contenant l'illustration en relief.

Néanmoins, LDQR, familles, éducateurs, enseignants spécialisés, tous font le même constat. Les images qui illustrent les livres tactiles sont difficilement comprises par les

enfants. Les études menées sur le sujet confirment ces observations de terrain (Pathak & Pring, 1989, D'Anguilli, Kennedy, & Heller, 1998, D'Anguilli & Kennedy, 2000). La conception d'images tactiles se révèle en effet très complexe. Conçues par des personnes voyantes se fondant sur une démarche empirique, l'image tactile n'est guère en adéquation avec l'expérience perceptive et les représentations des enfants déficients visuels.

Afin de cerner l'origine de ces difficultés de compréhension et d'apporter des solutions pour concevoir des livres tactiles illustrés mieux adaptés à la déficience visuelle, nous avons cherché à analyser et comprendre ce que « voient » les doigts des enfants qui découvrent une image tactile. Mais l'usage du terme « voir » est-il approprié à ce niveau ? Cela traduit de fait une idée étrange... Pour en saisir le sens, il faut élargir la définition du verbe « voir ». Ne pas la restreindre à « percevoir par les yeux »¹, mais plutôt la concevoir comme « se représenter mentalement, imaginer »², ou encore « percevoir par l'esprit »³. Cattaneo et Vecchi (2011) introduisent leur ouvrage « Blind Vision » en écrivant que le verbe « voir » peut se comprendre comme l'aptitude à construire des représentations mentales de nature spatiale, lesquelles peuvent contenir des détails visuels, mais pas obligatoirement. La question de l'existence de représentations mentales de l'espace chez les personnes aveugles est complexe, différentes théories se confrontant à ce sujet et nous reviendrons sur ce point un peu plus loin dans cette thèse⁴. Pour le moment, il est suffisant de mentionner que diverses études ont montré que les images mentales peuvent être élaborées à partir d'informations sensorielles multimodales (Halpern & Zatorre, 1999 ; Levy, Henkin., Lin, Hutter, & Schellinger, 1999). Il est donc légitime de penser que les personnes dépourvues de vision possèdent des capacités d'imagerie mentale, le matériel sensoriel à la base de ces représentations étant capté par les autres systèmes sensoriels, en particulier le toucher, d'où l'expression « voir avec les doigts ».

Afin de cerner plus précisément les enjeux sous-tendus par la perception des images tactiles chez les enfants déficients visuels, nous allons définir dans un premier temps les spécificités perceptives de la cécité, en nous concentrant plus particulièrement sur la modalité tactile. Puis nous ferons le lien entre ces spécificités perceptives et la compréhension des illustrations en relief, à la lumière des études réalisées sur ce sujet.

¹ Définition du petit Larousse illustré

² idem

³ idem

⁴ Voir 4. De la perception à la représentation, p.34

2 PERCEPTION TACTILE ET CECITE : SPECIFICITES ET ENJEUX

La perception est une activité complexe qui sous-tend tous nos comportements. Grâce à elle, l'homme prend connaissance de son environnement, ce qui lui permet d'y interagir de manière adaptée et d'assurer ainsi sa survie. Ce sont les sens qui garantissent le lien entre l'individu et son milieu. La vision, l'audition, le toucher, l'olfaction, le goût, la proprioception, autant de modalités sensorielles qui nous « ouvrent » au monde. La vision est un système sensoriel particulièrement sollicité chez l'homme. D'une précision remarquable, elle permet d'accéder à des données spatiales qu'aucun autre sens n'est capable d'égaler d'un point de vue quantitatif comme qualitatif. D'un seul coup d'œil, il est possible d'accéder simultanément à un nombre élevé d'informations et de distinguer des détails très précis présents dans le champ visuel. La vision a de plus un rôle important dans la coordination des mouvements dans l'espace. En effet, décisive dans le développement psychomoteur, elle permet au bébé d'initier, de guider, de contrôler et de corriger ses mouvements dès les premiers mois de la vie (Hatwell, 2003). De tous les systèmes sensoriels, c'est elle qui présente assurément la meilleure résolution spatiale (Pick, Warren, & Hay, 1969 ; Heller, 1992 ; Thinus-Blanc & Gaunet, 1997; Eimer, 2004).

Lorsque la vision est absente, l'expérience perceptive change de manière radicale et impacte incontestablement le développement des autres systèmes perceptifs ainsi que le développement de la cognition. Les personnes déficientes visuelles ont leur propre univers perceptif qui ne peut être équivalent à celui des personnes voyantes (Portalier, 1992, 1999). Cet univers est composé d'une multitude de sensations tactiles, auditives, olfactives, gustatives, proprioceptives. Toutes ces sensations, interagissent, se complètent, s'intègrent et permettent aux aveugles de percevoir les objets qui les entourent, dans l'espace proche comme dans l'espace plus lointain, et d'évoluer de la manière la plus adaptée et autonome possible dans leur environnement. L'interaction entre les sens et leur complémentarité ont une grande importance dans les activités de l'homme au quotidien car elles sous-tendent une perception unifiée des objets et donc la production de comportements adaptés au milieu. Cette communication entre les sens, appelée intermodalité sensorielle, est d'ailleurs présente dès la naissance (Streri, 2000b ; Streri & Gentaz, 2003). L'intermodalité sensorielle ne se cantonne pas à la spécificité d'un sens, elle va au-delà, et c'est un réel atout en cas de handicap sensoriel, car elle permet la substitution sensorielle (Streri, 2003). L'organisme s'adapte et les autres systèmes sensoriels prennent le relais. Bien évidemment, la substitution n'est jamais totale. Si une modalité perceptive se substituait totalement à une autre modalité, il n'y aurait

qu'une seule modalité ; or, il y en a plusieurs et chacune conserve des spécificités. Par exemple, un aveugle ne pourra jamais « percevoir » la couleur jaune. Il apprendra que certains objets sont jaunes.

La modalité sensorielle qui nous intéresse dans cette question de la compréhension des images en relief est la sensibilité tactile car elle est la plus efficace pour traiter les informations présentes dans l'espace de préhension, à portée de la main, espace dans lequel se situe le livre qui est lu.

2.1 LA MAIN : UN ORGANE PLURIFONCTIONNEL

La main est un outil extraordinaire qui confère à l'homme une place influente dans le monde des vivants. L'évolution de cet organe sensori-moteur a permis à l'être humain une maîtrise technique qui lui a donné la capacité de transformer son environnement, notamment en interagissant avec le monde extérieur et en manipulant de manière complexe les objets.

La main possède une double fonction : instrumentale et perceptive. La fonction instrumentale relève de la motricité globale. Elle fait de la main un outil capable de modifier le monde : saisir, maintenir, transporter, transformer, sont autant d'activités motrices réalisées par les mains. Notons, d'ailleurs, que la modalité tactile est la seule modalité sensorielle capable de transformer l'environnement. La fonction perceptive des mains, que nous allons détailler plus amplement car elle est au cœur de nos travaux, relève de la motricité fine. Elle allie aspect sensoriel, grâce aux récepteurs cutanés des doigts et des mains et aspect kinesthésique grâce aux mouvements initiés par le système épaule-main. Cette association entre perceptions cutanées et kinesthésiques forme un ensemble perceptif nommé perception « haptique ». Du grec « haptain » qui signifie « toucher », le terme haptique a été introduit dans le domaine de la psychologie par Revesz en 1950 dans son ouvrage princeps, « Psychology and Art of the Blind ».

Les deux fonctions de la main sont interdépendantes et elles interagissent de manière subtile par l'intermédiaire d'un système moteur commun. Ainsi, la fonction instrumentale est aiguillée par la perception afin d'aboutir à des actions réussies, alors que la fonction perceptive, grâce aux mouvements, accède aux connaissances relatives aux objets touchés. Ici, plus que jamais, perception et action sont intimement liées.

La fonction qui attire toute notre attention est donc la fonction perceptive de la main. Chez les personnes aveugles, le geste d'exploration n'étant pas guidé par la vision, les interrelations entre action et perception ont un poids d'autant plus important. Nous allons donc analyser les spécificités de la fonction perceptive manuelle d'un point de vue général puis développemental, avant de s'intéresser à sa capacité d'identification des objets significatifs, et plus particulièrement l'identification de représentations bidimensionnelles de ces objets.

2.2 DU TOUCHER A L'HAPTIQUE : QUAND PERCEPTION ET ACTION S'INTEGRENT.

Le sens du toucher fait référence à l'ensemble des sensations produites par une déformation mécanique de la peau. Chaque point de la peau du corps humain est sensible, mais en fonction de la zone, l'acuité tactile diffère. Ainsi, les zones les plus sensibles, capables de détecter les détails les plus fins, se situent dans la sphère orale (langue et lèvres) et au niveau des mains, en particulier au niveau du bout des doigts. Dans le cadre de la compréhension des images tactiles, nous nous limiterons à la perception tactile de la main, et c'est en ce sens que nous emploierons le terme « toucher ».

Le toucher est une modalité sensorielle spatiale, ce qui lui permet d'accéder à presque toutes les propriétés des objets auxquelles accède la vision, comme la forme, la taille, la texture, l'orientation ou la localisation. Il n'accède évidemment pas à la couleur, mais il a l'exclusivité pour percevoir la température et le poids. Contrairement au système visuel qui perçoit à distance, le toucher est une modalité perceptive de contact, dans le sens où la perception est dépendante du contact direct de l'objet avec les récepteurs sensoriels de la peau. Ceci implique un champ perceptif réduit se limitant à cette zone de contact. De plus, à l'inverse de la vision, qui est une modalité perceptive objective n'ayant pas besoin d'être dirigée vers un but pour s'ouvrir vers l'extérieur, le système tactile est plus subjectif, égocentré. La perception tactile de l'environnement dépend, en effet, d'une action dirigée vers un but (Gibson, 1962).

Il existe deux sortes de perceptions tactiles : le toucher dit « passif » et le toucher dit « actif ». *Le toucher passif* correspond à une perception qui n'est associée à aucun mouvement, le champ perceptif se résumant alors à la partie de l'objet en contact avec une partie du corps immobile. Les informations récoltées restent pauvres et partielles en raison de l'absence de mouvements exploratoires (Hatwell, 2003 ; Katz, 1925/1989 ; Gibson, 1966 ; Revesz, 1950). *Le toucher actif*, également appelé perception tactilo-kinesthésique ou

haptique comme nous l'avons vu précédemment, correspond à une association entre sensations cutanées et sensations proprioceptives issues de mouvements d'exploration volontaires (Gentaz, 2000). La sensation cutanée est fournie par les mécanorécepteurs situés à la surface de la peau, alors que la sensation proprioceptive, qui fait appel à une sensibilité plus profonde, est produite par des récepteurs situés dans les muscles, les tendons et les articulations. Ce type de toucher est très intéressant dans les explorations d'images tactiles, car les mouvements effectués par le système épaule-main élargissent le champ perceptif, ce qui entraîne de meilleures discriminations. Le sujet actif dans l'exploration tactile peut, grâce au contrôle de ses mouvements, appliquer des stratégies de traitement des propriétés de l'objet exploré afin d'identifier ce qu'il est en train de toucher (Lederman & Klatzky, 1987). De plus, il n'est pas contraint par un ordre imposé de présentation des informations, comme avec l'audition par exemple. Il peut aller et venir librement d'une partie à l'autre de l'objet, explorer plusieurs fois un même endroit, à la manière de l'œil qui découvre un paysage ou un objet de grande taille. Des études chez les adultes voyants ont montré que le toucher actif permet une meilleure compréhension tactile comparativement au toucher passif (Loomis, 1985 ; Heller, 1986). Cependant, malgré tous ces atouts, le traitement des informations issues des explorations haptiques demeure séquentiel, et l'accès à une représentation unifiée de l'objet demande un travail d'intégration et de synthèse des informations recueillies, ce qui entraîne une charge cognitive lourde comparativement au traitement simultané de la vision (Revesz, 1950; Warren, 1984). Il n'en reste pas moins que le système haptique constitue une voie principale qui garantit aux personnes porteuses d'un handicap visuel sévère, l'accès à l'environnement extérieur. C'est notamment grâce à lui que les plus jeunes découvrent et jouissent des illustrations dans les livres tactiles, thématique centrale pour notre travail. Nous proposons maintenant de nous centrer sur une perspective développementale. Comment évolue la perception haptique avec l'âge ?

2.3 LA PERCEPTION HAPTIQUE D'UN POINT DE VUE DEVELOPPEMENTAL

2.3.1 LA PERCEPTION HAPTIQUE CHEZ LES BEBES

In-utero déjà, le fœtus réagit aux stimulations tactiles. Vers 11 semaines de gestation, la paume de la main est sensible à des caresses (Humphrey, 1964). Dès la naissance, la présence du réflexe d'agrippement (fermeture des doigts autour d'un objet qui exerce une pression sur la paume de la main), déjà opérant au cours de la période fœtale (Erhardt, 1973) et du réflexe d'évitement (écartement des doigts afin d'éviter tout contact avec un objet) qui

apparaît quelques semaines après la naissance (Twitchell, 1965, 1970), offrent au bébé la possibilité de tenir et manipuler sommairement des objets. Il est aujourd'hui admis que ce genre de manipulation correspond à une activité perceptive archaïque qui permet au bébé de percevoir les propriétés des objets attrapés. Streri, Lhote et Dutilleul (2000) ont mis en évidence, grâce à une procédure d'habituation, que des nouveau-nés de quelques heures sont capables de distinguer deux petits objets de formes différentes (un cylindre et un prisme). Ainsi, au cours du premier semestre, les bébés peuvent détecter différentes propriétés des objets, en particulier la forme (Streri, 1987 ; Streri & Milhet, 1988 ; Streri & Molina, 1993) et la texture (Molina & Jouen, 1998). A cet âge là, la perception haptique résulte d'un contact peu actif avec l'objet, qui se traduit à travers la main qui enveloppe l'objet. La perception reste globale. Vers 4-5 mois, la mise en place de la coordination vision-préhension marque une étape décisive dans le développement des capacités perceptives haptiques. A partir de cet âge, les bébés tentent de s'emparer de tout ce qu'ils voient et veulent voir tout ce qu'ils arrivent à attraper : la fonction de transport de la main est en train de se mettre en place. Pendant quelques mois, le bébé va s'employer à exercer cette fonction de transport au détriment de la fonction perceptive (Streri, 1993). A partir de 7 mois, l'exploration manuelle des objets redevient opérante (Ruff, Saltarelli, Capozzoli, & Dubiner, 1992). Associées à la vision, les manipulations des bébés deviennent plus précises ce qui leur permet de mieux traiter les différentes propriétés caractérisant les objets explorés.

Les mêmes observations sont-elles faites chez les bébés aveugles ?

Les nourrissons aveugles possèdent également les réflexes d'agrippement et d'évitement. Cependant, ces bébés présentent des mains peu toniques qui manifestent une activité exploratoire faible dans l'espace de préhension, et cela jusqu'à l'âge de 6-7 mois. Pour Fraiberg qui a étudié l'activité manuelle chez les bébés privés de vision (Fraiberg, 1968, 1977 ; Fraiberg, Siegel, & Gibson, 1966), les mains de ces derniers sont comme « aveugles » au cours du premier semestre de vie. Durant le second semestre, les mains des bébés aveugles s'éveillent au monde. Shellingerhout, Smitsan et Vangelen (1997) examinent l'exploration de textures chez des bébés aveugles âgés de 8 à 24 mois. Ils mettent en évidence qu'à partir de 8 mois, les jeunes aveugles initient des mouvements d'exploration spécifiques afin de percevoir différents gradients de texture, en particulier le « *fingering* » (exploration avec les doigts) et le « *rubbing* » (frottement). Cependant, le recours à ce type de mouvements exploratoires se fait de manière indifférenciée, peu importe le type de texture explorée. L'utilisation spécifique d'un mouvement plutôt qu'un autre en fonction de la texture touchée apparaît autour de 21

mois. Ces travaux rejoignent ceux de Landeau (1991) qui observe que des bébés aveugles de 18 mois mettent en œuvre des mouvements exploratoires différents pour percevoir la forme ou la texture d'objets tridimensionnels. Ce type de comportements apparaît plus tard que chez les enfants voyants, chez qui ils sont observés autour de 6 mois (Morhange-Majoux et al. 1997).

Ce décalage entre bébés voyants et bébés aveugles peut s'expliquer par l'absence de la coordination vision-préhension chez ces derniers. Cependant, si les petits aveugles ne bénéficient pas de l'aide de la vision pour initier et guider le mouvement de leurs mains, ils ont à leur disposition le système auditif, qui va guider leur main dans l'espace proche. Le développement de la coordination audition-préhension chez les bébés aveugles est plus tardif que celui de la coordination vision-préhension chez les bébés voyants. Les jeunes aveugles commencent à rechercher un objet sonore qu'on leur retire des mains autour de 8 mois, et c'est vers 12 mois que l'on observe une coordination audition-préhension opérante avec la recherche, l'atteinte et la saisie d'un objet sonore qui n'a pas été touché préalablement (Fraiberg et al., 1966, Fraiberg, 1977 ; Tröster & Brambring, 1993). Il apparaît donc que les enfants aveugles développent des habiletés exploratoires très tôt, malgré l'absence de vision, ce qui souligne l'importance d'une sensibilisation et d'une initiation au toucher dès les premiers mois.

2.3.2 LA PERCEPTION HAPTIQUE CHEZ LES ENFANTS

Les travaux qui s'intéressent à l'évolution de la perception tactile chez les enfants ont été initiés dans les années 1940 par Piaget et Inhelder (1947). Les deux auteurs observent que de jeunes enfants voyants dont les yeux sont bandés ont des difficultés à percevoir tactilement les propriétés d'objets. À 2-3 ans, ils explorent uniquement à l'aide de la paume de leur main, sans utiliser leurs doigts. Les mains des enfants demeurent souvent immobiles sur l'objet et les mouvements qu'ils effectuent ont une finalité plus pratique que perceptive. Le plus souvent, ils saisissent l'objet à deux mains puis le palpe, le roule, le cogne ou le retourne. Ainsi, jusqu'à l'âge de 5 ans, les enfants utilisent des explorations manuelles passives, incomplètes, souvent stéréotypées et inadaptées à la propriété de l'objet recherchée. Par exemple, ils vont utiliser les mêmes mouvements tactiles pour appréhender la longueur ou la forme de l'objet (Abravanel, 1968). Toutefois, Landau (1991), que nous avons déjà cité dans le paragraphe ci-dessus, a montré que les jeunes enfants âgés de 18 mois à 3 ans font preuve d'exploration haptique active et emploient des patterns d'exploration spécifiques en fonction du type d'objet présenté : si l'objet qu'on leur présente comporte une nouvelle texture, ils le

palpent ; si en revanche, l'objet est constitué d'une forme nouvelle, ils le font tourner. Ainsi, entre 2 et 5 ans, les mains sont essentiellement utilisées dans leur fonction instrumentale, pour saisir et manipuler les objets. Cependant, des travaux comme ceux de Landau (1991) montrent que la fonction perceptive est bien présente et opérante, même à un stade élémentaire.

A partir de 5 ans, la fonction perceptive de la main s'améliore. Les explorations sont plus actives grâce à l'utilisation des doigts pour parcourir le contour des objets (Zaporozhets, 1965). Elles sont essentiellement globales, malgré quelques relevés d'indices locaux, et restent aléatoires, peu organisées et majoritairement égocentrées. Avant l'âge de 7 ans, les explorations manuelles ne sont pas encore spécialisées (Berger & Hatwell, 1995). Les enfants ont des difficultés d'une part pour se concentrer sur l'information haptique pertinente afin d'identifier l'objet et d'autre part pour mettre en œuvre des stratégies d'exploration adaptées.

Après l'âge de 7 ans, la qualité des explorations s'améliore, ce qui entraîne une augmentation de la vitesse de traitement de l'information haptique (Hatwell, Orliaguet, & Brouty, 1990). Les stratégies exploratoires se systématisent, s'organisent et deviennent méthodiques. Elles s'organisent en deux temps avec une appréhension d'abord globale de l'objet puis une exploration locale des détails (Lederman & Klatzky, 1993), et suivent une méthode qui détermine un point de référence autour duquel l'enfant organise ses mouvements d'exploration (Hatwell, Osiek, & Jeanneret, 1973). Ce point de référence, à partir duquel se déploient les explorations et vers lequel l'enfant peut revenir tant qu'il le souhaite, lui permet d'organiser les éléments perçus afin de reconstruire la forme pour accéder à sa représentation afin de l'identifier. Dans une vision piagétienne, cette évolution des explorations tactiles chez les enfants est à mettre en lien avec la réversibilité des opérations qui s'acquiert au cours du stade opératoire, à partir de 6-7 ans, et qui permet de revenir vers le point de référence pendant les explorations.

Ce tableau développemental de la perception haptique chez les enfants voyants se retrouve t'il chez les enfants déficients visuels ?

Globalement, les mêmes observations sont faites chez les enfants déficients visuels, ce qui suggère que le développement de mouvements exploratoires adaptés à la perception haptique n'est pas lié à la présence du système visuel. En effet, les observations faites par Landau (1991) sur la présence chez les enfants voyants âgés de 18 mois à 3 ans d'explorations haptiques actives et l'utilisation de mouvements exploratoires spécifiques à une propriété donnée de l'objet (forme ou texture) sont similaires chez les enfants aveugles du même âge. De plus, une augmentation des explorations manuelles est observée entre 4 et 7 ans

(Simpkins, 1979 ; Simpkins & Siegel, 1979). D'abord globales, partielles et inorganisées autour de 3-4 ans, les explorations des enfants aveugles et malvoyants s'affinent et se systématisent à partir de 7 ans (Morrongliello, Humphrey, Timney, Choi, & Rocca, 1994). Ainsi, lorsque les explorations deviennent plus centrées sur les détails des objets, les scores de reconnaissances tactiles s'améliorent.

Cependant, des auteurs comme Berlà (Berlà, 1972 ; 1974 ; 1981 ; Berlà & Murr, 1972) mettent en avant de faibles performances de discrimination tactile chez les enfants aveugles âgés de 6 à 12 ans. Les enfants aveugles qui ont participé à ces études présentaient des mouvements d'exploration moins bien organisés, plus aléatoires et moins complets que les enfants voyants, ce qui entraînait un bas niveau de discrimination tactile. Ces résultats relativement anciens ont été remis en cause dans des études ultérieures. D'Angiulli, Kennedy, et Heller (1998) montrent que dans une tâche d'identification d'images tactiles, des enfants aveugles congénitaux âgés de 8 à 13 ans reconnaissent plus d'images que leurs pairs voyants. Encore plus récemment, Vinter, Fernandes, Orlandi et Morgan (2012) mettent en évidence que des enfants déficients visuels âgés de 7 à 11 ans font preuve d'une meilleure expertise durant l'exploration haptique de patterns géométriques bi-dimensionnels que des enfants voyants du même âge. Ces observations contradictoires trouvent sûrement une explication dans l'évolution des modes de prise en charge et d'éducation des enfants déficients visuels au cours des vingt dernières années. En effet, conscients de la nécessité de développer la sensibilité tactile des enfants, les professionnels de l'accompagnement du handicap visuel les éduquent au toucher haptique dès leur plus jeune âge, ce qui se traduit par de meilleures performances tactilo-kinesthésiques.

A l'âge adulte, les explorations haptiques deviennent plus performantes chez les personnes déficientes visuelles comparativement aux personnes voyantes. Les déficients visuels mettent en œuvre des explorations plus précises car ils utilisent des mouvements exploratoires plus pertinents afin de discriminer les différentes parties des objets explorés (Richards, Vaz-Cerniglia, & Portalier. 2004). De plus, les adultes aveugles optimisent la grandeur de leur champ perceptif tactile en utilisant tous leurs doigts, ce qui permet de capter la globalité de la forme, alors que les adultes voyants réduisent ce champ perceptif en ne mobilisant qu'un ou deux doigts, accentuant le caractère séquentiel de l'exploration tactile (Davidson, 1972). Lorsque l'on apprend aux adultes voyants à explorer sur le même mode d'exploration que les adultes aveugles, les différences de performance en fonction de l'acuité visuelle disparaissent. Il apparaît ainsi que la pratique de la modalité haptique est essentielle pour son utilisation optimale.

Le système haptique est donc un outil perceptif puissant qui allie action et sensation dans des proportions subtiles afin d'accéder à la compréhension des objets par le toucher. Cette habileté perceptive se développe de manière relativement similaire chez les enfants aveugles et chez les enfants voyants. Avec l'âge, elle devient plus organisée et plus précise. L'utilisation accrue du système haptique permet aux adultes déficients visuels de mettre en œuvre un traitement haptique plus performant que les adultes voyants. Nous allons à présent regarder plus en détails l'aptitude de la perception haptique à identifier les images tactiles.

3 PERCEPTION HAPTIQUE DES IMAGES TACTILES

L'image est un objet à deux dimensions. Si on se place dans un espace vectoriel, l'image va en effet être définie par sa longueur et par sa largeur (x, y). Lorsque l'image est tactile, elle émerge de l'espace plan pour offrir aux doigts des lignes, des courbures, des angles, des textures à explorer. Dans la littérature, on considère cependant que l'image tactile reste un objet bidimensionnel, malgré son épaisseur, comparativement aux objets manipulables qui constituent des éléments tridimensionnels (longueur, largeur et volume - x, y, z). Comment ces objets sont-ils perçus au bout des doigts ? Plus spécifiquement, comment sont-ils perçus sous les doigts des enfants déficients visuels ? Cette dernière question est au cœur de nos interrogations et a largement motivé les travaux qui sont présentés ici. Afin de bien cerner les enjeux sous tendus par la compréhension des images tactiles, nous allons faire le point sur les connaissances disponibles dans la littérature sur la perception haptique des objets bi-dimensionnels.

3.1 L'IMAGE TACTILE : UN OBJET BIDIMENSIONNEL

Les images tactiles sont des objets que l'on considère comme « bidimensionnels ». Elles sont bien entendu définies dans l'espace plan par leur longueur et leur largeur, mais elles tiennent également leur « bidimensionnalité » de deux autres dimensions: la dimension macrogéométrique et la dimension microgéométrique (Lederman & Klatzky, 1993). Ces deux dimensions regroupent différentes propriétés qui caractérisent l'objet. La dimension macrogéométrique renvoie aux macropropriétés spatiales de l'image tactile. Elle regroupe la forme, la longueur, l'orientation ou encore la localisation. La dimension microgéométrique renvoie, quant à elle, à l'ensemble des propriétés physiques qui constituent la microstructure de la surface de l'image tactile, comme la rugosité, la dureté ou encore l'élasticité. En d'autres termes, elle correspond à la texture et à la température. Les deux propriétés qui jouent un rôle

important dans la reconnaissance d'images en relief sont la forme et la texture. C'est donc sur ces deux propriétés que nous nous arrêterons.

Des travaux sur la spécialisation fonctionnelle des modalités perceptives (Pick, 1974, Freides, 1974 ; Hatwell, 1986 ; Klatsky, Lederman, & Reed, 1987) ont mis en avant que le toucher domine dans la perception des propriétés microgéométriques, alors que la vue est le sens spatial par excellence. La modalité haptique est donc plus adaptée au traitement de la texture, alors que la modalité visuelle est plus ajustée au traitement de la forme.

Si on se place d'un point de vue purement haptique, il apparaît que la discrimination tactile de la texture est plus précoce que la discrimination tactile de la forme (Lederman & Klatzky, 1997). Les auteurs expliquent cette observation développementale en termes de complexité des mouvements exploratoires nécessaires à la discrimination d'une propriété donnée. Elles ont montré que les explorations haptiques requises pour l'identification d'une texture sont relativement simples d'un point de vue moteur et sont donc faciles à déployer par des enfants, alors que les mouvements exploratoires requis pour l'identification d'une forme sont plus élaborés et nécessitent de la coordination ainsi qu'un système spatial de référence qui est mieux maîtrisé par les adultes. Dès l'âge de 4-6 mois, les bébés emploient des mouvements d'exploration adaptés à la texture (Morhange-Majoux, Cougnot, & Bloch, 1997).

De même, concernant la préférence entre forme et texture, un certain nombre de travaux ont démontré une préférence pour la texture chez les jeunes enfants. Une inversion de la préférence entre texture et forme s'opère aux alentours de 5-6 ans (Gliner, Pick, Pick, & Hales, 1969 ; Siegel & Vance, 1970 ; Berger & Hatwell, 1993 ; 1996).

Ces travaux sur la préférence dimensionnelle ont été menés auprès d'un public d'enfants et d'adultes voyants. A notre connaissance, aucune étude de ce type n'a été réalisée chez les enfants déficients visuels. Ce vide théorique constitue un réel manque d'un point de vue fondamentale comme pédagogique. Comprendre comment les enfants déficients visuels appréhendent les interactions entre forme et texture fait partie de nos travaux sur la compréhension des images tactiles. Nous en parlerons plus amplement dans la seconde partie de cette thèse.⁵

Nous allons à présent nous arrêter sur la manière dont sont perçues la texture, d'une part, et la forme d'autre part dans le contexte de la découverte d'images en relief.

⁵ Voir partie 2, chapitre 2 *Forme versus texture : impact des propriétés de l'image tactile sur sa compréhension*, p. 167.

3.2 PERCEVOIR LA TEXTURE

Un nombre important de travaux sur la perception de la texture a été conduit auprès d'un public voyant sous occlusion visuelle. Un corpus d'études discute la nécessité du mouvement dans la qualité de la perception de la texture. Dès 1925, Katz (1925/1989), souligne l'importance d'utiliser le mouvement pour percevoir correctement la texture. Cependant, des auteurs comme Heller (1989b) et Lederman (1974) ont montré que la perception de la texture ne diffère pas selon que le sujet soit actif ou passif dans l'exploration. En effet, le mouvement n'est pas nécessairement fourni par le sujet, il peut aussi provenir de l'objet que l'on bouge sous les doigts figés. De telles observations mettent en doute l'importance de la kinesthésie dans la perception de la texture qui serait plus induite par la seule information cutanée. En fait, il semble que l'importance du mouvement dans la l'appréhension de la texture dépende de la dureté de la surface explorée. Ainsi, Srinivasan et La Motte (1996) mettent en évidence de meilleures performances de discrimination lorsque des surfaces souples sont explorées passivement et lorsque des surfaces plus rigides sont explorées activement. La perception de la texture chez les adultes voyants semble donc dépendre de l'association pertinente entre la manière d'utiliser sa main et le type de texture explorée. Il apparaît ainsi que lorsque les mouvements employés sont adéquats, le système haptique a la possibilité de discriminer les textures à égalité avec la vision, voire même mieux que cette dernière. Ainsi, Heller (1989b) ne trouve pas de différences entre la discrimination visuelle et la discrimination haptique de la texture de papiers abrasifs présentant différents degrés de rugosité. Au contraire, cette étude montre que le système tactilo-kinesthésique est plus performant que la vision pour discriminer des gradients de rugosité très fins.

Chez les aveugles, en revanche, la perception de la texture est peu étudiée. Une étude menée par Nolan et Morris (1960) sur la discrimination de papiers abrasifs par des enfants aveugles âgés de 5 à 14 ans montre de meilleures performances de discriminations avec l'âge. A partir de 7 ans, les enfants discriminent les différents gradients de rugosité aussi bien que leurs camarades plus âgés. De plus, Stellwagon et Culbert (1963) ont étudié la discrimination de dix textures par des adolescents et des adultes aveugles et voyants. Ils montrent qu'il n'y a pas de différences en fonction du statut visuel. Aveugles et voyants obtiennent les mêmes résultats de discrimination. L'accès aux informations visuelles n'est ainsi pas facilitateur en ce qui concerne la perception de la texture. Il est même surprenant de ne pas observer une supériorité des sujets aveugles dans ce genre de tâche de discrimination comparativement aux sujets voyants, étant donné leur expertise du point de vue tactilo-kinesthésique.

3.3 PERCEVOIR LA FORME

En ce qui concerne la perception de la forme, les études menées sur le sujet se sont principalement intéressées à un public adulte voyant explorant tactilement sans voir. Ici encore, les études auprès d'un public aveugle font défaut.

La discrimination de la forme peut être analysée soit de manière globale, soit de manière dissociée en étudiant les différents éléments qui la composent comme les courbures et les angles. Même si la vision est sans aucun conteste la modalité perceptive la plus performante dans le domaine spatial, il est intéressant de noter que les études réalisées sur la perception de la forme d'objets bidimensionnels et tridimensionnels mettent en avant des modes de traitements similaires entre les modalités visuelle et haptique. Par exemple, comme dans la vision, le toucher évalue la complexité d'une forme par le nombre de côtés (Brumaghin & Brown, 1969 ; Owen & Brown, 1970). De même, la similarité entre formes est jaugée selon les mêmes caractéristiques (taille, complexité, symétries) que l'on considère la vision ou le système haptique (Gabin & Bernstein, 1984).

Toutefois, malgré ces similitudes de traitement entre modalité tactilo-kinesthésique et modalité visuelle, un certain nombre de différences sont à noter. Elles s'expliquent notamment par les spécificités du système haptique, et plus particulièrement, son caractère séquentiel, la taille réduite de son champ perceptif, mais également son système de référence égocentré. Une première différence réside dans les performances tactiles de discrimination de la forme locale ou globale d'objets bidimensionnels qui restent inférieures aux performances visuelles. Un certain nombre de difficultés ont été observées : problème pour évaluer la courbure des patterns de trop grande taille dont l'exploration implique la mobilisation du système main-épaule (Gordon & Morison, 1982 ; Davidson, 1972), sous-estimation de l'amplitude angulaire (Lakatos & Marks, 1998). De plus, la symétrie de la forme ne joue pas le même rôle en fonction des deux systèmes perceptifs. Dans la vision, la symétrie a un effet facilitateur, notamment la symétrie verticale (Locher & Wagemans, 1993 ; Wagemans, 1995 ; Walk, 1965). Or, on ne retrouve pas ce bénéfice de la symétrie dans le traitement haptique de patterns bidimensionnels. Au contraire, Ballesteros, Millar et Reales (1998) mettent en évidence dans une tâche de discrimination de la symétrie de formes géométriques bidimensionnelles que l'asymétrie est détectée plus rapidement que la symétrie. Ces auteurs observent, de plus, que la détection de la symétrie est facilitée par une exploration bimanuelle. Cependant, une étude plus récente de Cattaneo et ses collègues (Cattaneo, Fantino, Silvanto, Tinti, Pascual-Leone, & Vecchi, 2010) sur la perception de la symétrie chez des adultes

aveugles nuance les observations faites chez les voyants sous occlusion visuelle. Ces auteurs observent en effet que dans une tâche de mémorisation de la localisation d'une cible dans un quadrillage bidimensionnel, les aveugles comme les voyants montrent de meilleures performances de mémorisation lorsque la configuration du quadrillage est symétrique. Les différences de performance entre les deux groupes de sujet apparaissent au niveau de l'orientation des axes de symétrie. Ainsi, on retrouve l'effet facilitateur de la symétrie verticale chez les sujets voyants, qui ont de meilleures performances lorsque l'axe de symétrie est vertical que lorsqu'il est horizontal. En revanche, aucun effet de l'orientation de l'axe chez les sujets aveugles n'est observé. Il apparaît donc que l'effet de la symétrie dans la perception haptique, s'il n'est pas de même nature que dans la perception visuelle, est bien présent. Il agirait comme un agent d'organisation de la perception, au sens de la Gestalt (voir Machilsen, Pauwels, & Wagemans, 2009).

Les informations perçues relatives à la forme et la texture doivent faire sens au sujet qui explore l'image afin qu'il enclenche des processus d'activation des représentations mentales stockées en mémoire pour accéder à l'identification de l'objet figuré sur l'image. La question des images mentales et des représentations chez les personnes aveugles a suscité et continue de nourrir des débats tant philosophiques que théoriques. Nous allons faire le point sur ce sujet, car les capacités de représentations sont un point clé du processus de compréhension des images tactiles.

4 DE LA PERCEPTION A LA REPRESENTATION

Au quotidien, l'homme évolue dans un environnement riche en objets avec lesquels il interagit continuellement. A travers ces expériences, il construit un modèle intériorisé de cet environnement sous forme de représentations mentales. Les représentations mentales peuvent ainsi être définies comme des entités cognitives internes qui correspondent à une réalité externe éprouvée par le sujet, mêlant dimensions perceptives, motrices et émotionnelles. Elles opèrent également en l'absence du stimulus qui les a engendrées. D'un point de vue fonctionnel, ce sont des structures cognitives qui permettent de conserver de l'information plus ou moins abstraite et qui interviennent dans de grandes fonctions et processus cognitifs tels que la mémoire et l'apprentissage (Yates, 1966 ; Paivio, 1986), le raisonnement et la résolution de problèmes (Denis & Boucher, 1991 ; Schwartz & Black, 1996). Elles participent

notamment aux processus d'identification d'objets, ce qui est particulièrement intéressant dans le cas de la compréhension haptique des images tactiles.

4.1 LE FORMAT DES REPRESENTATIONS : IMAGE VERSUS PROPOSITION

La définition du format des représentations mentales est au cœur d'un débat théorique qui perdure depuis plusieurs dizaines d'années, et ce n'est pas sans incidences lorsque l'on se penche sur la question des représentations chez les personnes aveugles. En effet, deux conceptions s'opposent. Une première portée par Kosslyn (1973, 1980, 1994, 2006) envisage les représentations mentales comme « imagées » ; la seconde, défendue par Pylyshyn (1973, 1981, 2003), considère plutôt que les représentations mentales sont stockées dans un format « propositionnel ». Image versus proposition, deux formats que nous allons définir pour bien comprendre les enjeux vis-à-vis de la prise en considération de l'univers représentationnel des aveugles.

La première conception envisage donc les représentations comme des « images » mentales. Une des particularités de telles représentations est qu'elles entretiennent avec les objets qu'elles interprètent un certain niveau d'analogie. L'image mentale est ainsi définie comme analogique car dérivant de la perception, elle relève de processus communs à cette même perception. Ce caractère analogique concernerait aussi bien les aspects structuraux de l'objet imaginé (sa forme, son organisation spatiale, ses propriétés topologiques) que ses aspects fonctionnels. L'analogie structurelle des représentations imagées a notamment été mise en évidence dans une étude de Santa (1977) sur la mémorisation de figures géométriques. Cette étude montre que la reconnaissance d'une série de trois formes géométriques est plus rapide lorsque les éléments ont la même disposition durant la phase d'apprentissage et durant la phase de reconnaissance. La représentation des 3 formes géométriques semble donc avoir intégré la disposition des éléments, c'est à dire les propriétés spatiales de l'objet représenté. L'analogie fonctionnelle entre l'image mentale et l'objet qu'elle représente a, quant à elle, été mise en évidence par des travaux qui étudient notamment la rotation mentale (Shepard & Metzer, 1971 ; Shepard & Cooper, 1982). Ainsi, Shepard et Metzer (1971) présentent une paire de figures tridimensionnelles à des sujets adultes, qui doivent déterminer si les deux figures sont identiques. Les deux patterns varient en termes de rotation dans le plan. Il apparaît que le temps pris pour déterminer la similitude est proportionnel à l'angle de rotation de la figure. Les auteurs expliquent ce résultat par le

fait que les sujets imagineraient la figure et effectueraient la rotation mentalement comme s'ils la manipulaient physiquement

Les défenseurs de cette théorie restreignent souvent la perception à la perception visuelle dans le sens où la représentation serait une interprétation de scènes purement visuelles. Pour eux, le format imagé des représentations présenterait l'avantage de stocker simultanément un grand nombre d'informations, contrairement, notamment, au format propositionnel (Thompson, Kosslyn, Hoffman, & Van Der Kooij, 2008).

En ce qui concerne la conception propositionnelle des représentations, elle envisage les représentations mentales comme essentiellement nourries par le langage et la pensée. Ces représentations sont porteuses d'une information abstraite, conceptuelle et sémantique relative à notre savoir concernant les objets présents dans notre environnement, leurs propriétés et les relations qu'ils entretiennent. Pylyshyn, leader radical de cette conception, ne remet pas en cause l'existence des images mentales, mais selon lui, elles ne constituent qu'un épiphénomène des représentations propositionnelles (Pylyshyn, 1981). En ce sens, l'image est porteuse uniquement d'informations redondantes ou inutiles au codage propositionnel. Comment expliquer alors les résultats expérimentaux obtenus dans les tâches de rotation mentale ? Pylyshyn (1981, 1984) avance une hypothèse explicative en terme de connaissance implicite. Plus précisément, certains paramètres des représentations entretiendraient des liens systématiques. Ainsi, dans la réalité le temps pour faire tourner un objet est fonction de l'angle de rotation appliqué, et ce lien entre temps et angle de rotation serait connu « tacitement » par le sujet qui appliquerait de manière implicite cette proportionnalité dans la tâche de rotation mentale.

Que peut-on dire alors des représentations mentales chez les personnes aveugles ?

4.2 REPRESENTATIONS MENTALES ET CECITE : UN FORMAT INTEGRE ?

Si l'on s'en tient à l'« apparente » spécificité visuelle des images mentales, il serait facile de penser que l'univers mental des personnes aveugles est essentiellement propositionnel, constitué de représentations abstraites en grande partie déconnectées de toute réalité perceptive. Si tel était le cas, les sujets aveugles présenteraient des difficultés indéniables pour résoudre des tâches qui impliquent un raisonnement basé sur des représentations analogiques, comme par exemple dans le domaine spatial. Or des études sur la rotation mentale, reprenant la tâche de rotation d'images visuelles mise au point par Shepard et Metzger (1971) et adaptée au domaine haptique par Marmor et Zaback (1976), ont montré

que les personnes aveugles étaient capables de manipuler des images mentales (Carpenter & Eisenberg, 1978 ; Dodds, Howarth, & Carter, 1982 ; Rovira, Deschamps, & Baena-Gomez, 2011). Cela suggère que les images mentales des aveugles ne se limitent pas à un format propositionnel, et qu'ils construisent également des représentations d'origine perceptive, avec une structure qui reflète de manière analogique celle des objets évoqués. Ces représentations de type analogique ne sont donc pas l'apanage de la vision. Même si la vision joue un rôle majeur dans la construction d'images mentales chez les personnes voyantes, elles ne sont pas créées qu'à partir du seul canal visuel. Les images mentales s'élaborent grâce à une convergence d'informations multi-sensorielles (Halpern & Zatorre, 1999 ; Levy, Henkin, et al., 1999), et les sujets aveugles n'en sont donc pas dépourvus. Par contre, leurs images mentales sont certainement spécifiques et diffèrent en partie de celles des sujets voyants, car elles sont élaborées à partir d'informations haptiques, auditives, olfactives ou encore gustatives.

Il nous semble donc judicieux d'adopter une position raisonnable concernant le format des représentations mentales. Dans le cadre de ce travail de recherche, nous optons pour une vision intégrative plus mesurée, qui accepte les deux types de représentations à des niveaux et des entrées de traitement différents. Nous envisageons les formats analogiques et propositionnels des représentations comme complémentaires (Galiano & Portalier, 2009).

5 VERS UN MODELE DE TRAVAIL

Afin de reconnaître une image tactile dans un livre, les enfants déficients visuels font appel à un ensemble de processus perceptivo-moteurs et cognitifs. Pour rendre compte de la complexité de ces processus et des facteurs qui les déterminent, nous avons élaboré un modèle, qui a guidé notre travail tout au long de la thèse. Avant de parler plus en détails de ce modèle, qui affiche la volonté de relier cognition et action pour expliquer les processus de reconnaissance, nous allons présenter deux premiers modèles issus des travaux menés par Lederman et Klatzky (Klatzky & Lederman, 1987; Lederman, Klatzky Chataway, & Summers, 1990; Klatzky & Lederman, 1993). Ces deux modèles proposent deux manières d'envisager le traitement cognitif de l'information haptique. Ils nous ont été particulièrement utiles pour interpréter les différents résultats obtenus, notamment en fonction du degré de handicap visuel.

5.1 LA MEDIATION VISUELLE ET L'APPREHENSION HAPTIQUE DIRECTE : *MODELES EXPLICATIFS DU TRAITEMENT HAPTIQUE*

Les processus d'identification d'objets par le système haptique ont été décrits par Lederman et Klatzky (Klatzky & Lederman, 1987; Lederman, Klatzky Chataway, & Summers, 1990; Klatzky & Lederman, 1993). Ces deux auteurs proposent deux modèles explicatifs du traitement de l'information haptique : le modèle par « médiation visuelle » et le modèle « d'appréhension haptique directe » (cf. Figure 3). La réflexion menée autour de ces modèles s'inscrit dans la continuité de l'idée développée précédemment sur le format des représentations construites par les sujets déficients visuels.

Le modèle par médiation visuelle met l'accent sur la nécessité de l'intervention du système visuel pour accéder à la reconnaissance d'un objet traité haptiquement. Selon ce modèle, les informations haptiques perçues sont recodées en une image visuelle par l'intermédiaire d'un traducteur. L'image ainsi obtenue permet d'accéder à la représentation de l'objet exploré. L'imagerie visuelle est donc utilisée comme médium pour accéder à la représentation. Ce modèle permet d'expliquer globalement, selon les auteurs, les processus d'identification tactile d'objets pour les voyants. Cependant, Lederman, Klatzky, et coll. (1990) soulignent le fait que l'élaboration de ce modèle se base sur des tâches qui ne font pas appel aux forces du système haptique, mais à ses faiblesses. En effet, le modèle par médiation visuelle est fondé sur des performances obtenues à partir de matériel bidimensionnel, qui ne comporte pas d'indices saillants spécifiques au système haptique comme la texture, le poids ou la température. La résolution de ces tâches passe essentiellement par un traitement de la forme, propriété visuelle par définition.

Or, ces mêmes auteurs ont montré que le système haptique est capable de fournir de remarquables performances d'identification d'objets du quotidien. En effet, des adultes voyants explorant sous occlusion visuelle sont capables d'identifier, en 1 ou 2 secondes, 100 objets du quotidien rien qu'en les manipulant (Klatzky, Lederman, & Metzger, 1985). Comment expliquer ce niveau de réussite ? Par l'adéquation entre le matériel utilisé dans cette tâche (des objets du quotidien, tridimensionnels) et les capacités sensori-motrices de la main. Les propriétés microgéométriques telles que la texture, la température et la rugosité ainsi que le poids et la tridimensionnalité sont des dimensions particulièrement pertinentes pour le système haptique. Dans ce cas là, le traitement haptique n'a pas besoin d'être médiatisé par le système visuel pour accéder à une représentation de l'objet.

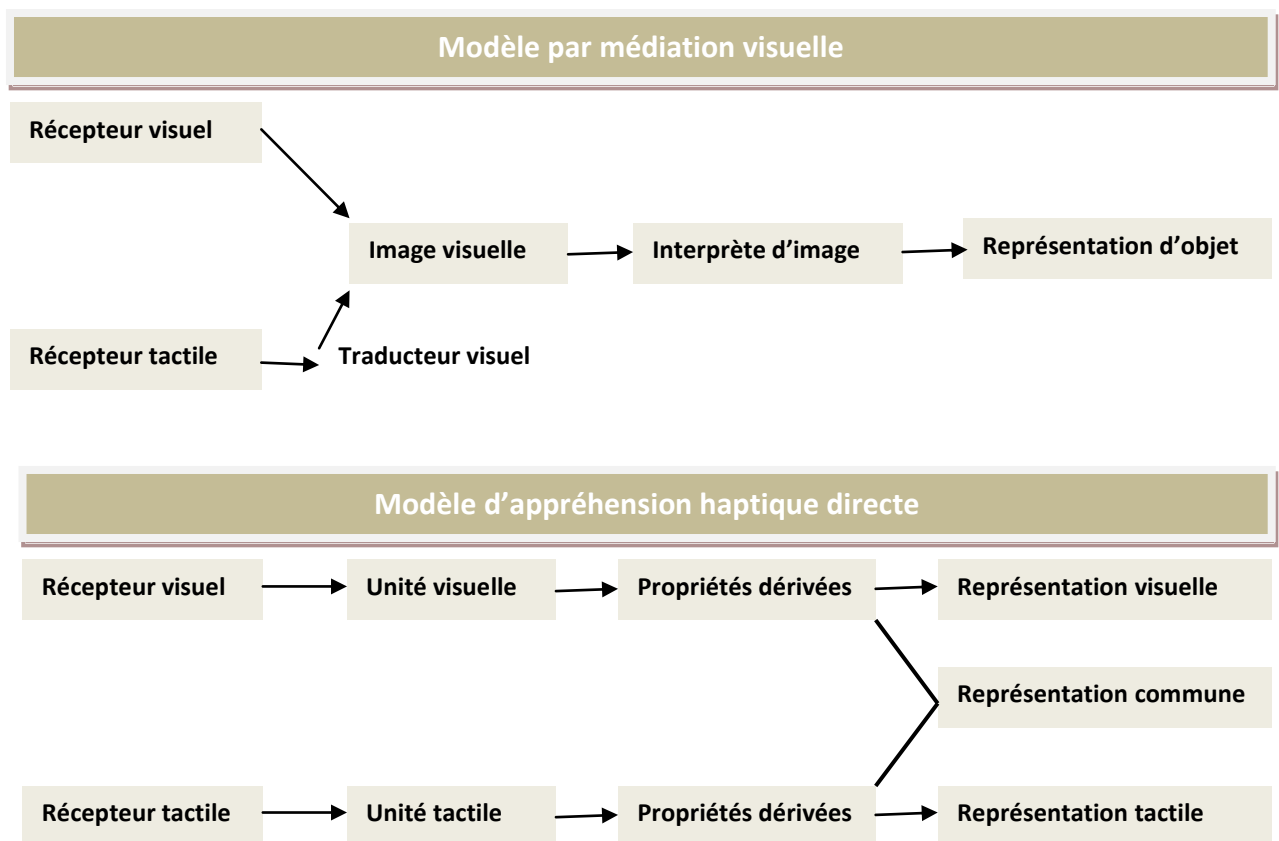


Figure 3. Modèles explicatifs du traitement haptique par « médiation visuelle » et par « appréhension directe » d'après Klatzky et Lederman (1987) *The intelligent hand* (p.129) in *The Psychology of Learning and Motivation*, 21, New-York : Academic Press.

Afin de rendre compte de l'aptitude du système haptique à fournir sa propre représentation de l'objet indépendamment du système visuel, Klatzky et Lederman (1987) proposent donc un second modèle, celui de *l'appréhension haptique directe*. Dans ce second modèle, le système haptique est envisagé comme autonome du système visuel, avec un mode de traitement de l'information qui lui est propre. Il tire avantage de sa capacité de traitement multidimensionnel qui lui permet d'appréhender au niveau local les différentes propriétés de l'objet, plus spécifiquement celles relatives à la microgéométrie (texture, dureté, température, poids du point de vue de la densité), et au niveau plus global la structure tridimensionnelle brute. Selon ces deux modèles, les sujets voyants sous occlusion visuelle passent donc par la médiation visuelle pour identifier les images tactiles, car ces dernières ne fournissent pas suffisamment d'informations microgéométriques pour être directement appréhendées par le système haptique, contrairement aux objets réels en trois dimensions. Ce type de traitement n'est évidemment pas possible chez les sujets aveugles, qui passent par l'appréhension haptique directe, que l'objet à traiter soit bidimensionnel ou tridimensionnel.

Ces deux modèles apportent un éclairage sur la manière dont l'information haptique est traitée et donnent des pistes d'interprétation quant aux différences que nous pourrions

observer entre enfants déficients visuels et enfants voyants. Cependant, ils se centrent sur un aspect essentiellement cognitif du traitement de l'information haptique, déconnecté du contexte d'exploration. Afin d'avoir une perspective plus globale des processus cognitivo-exploratoires à l'œuvre dans la reconnaissance des images tactiles, intégrant cognition, action et aspects contextuels liés à l'objet « image tactile », nous proposons un modèle plus intégrateur.

5.2 PROPOSITION D'UN MODELE DANS UNE PERSPECTIVE INTEGREE

Lorsque nous examinons une scène de lecture d'un livre tactile illustré, nous avons deux principaux « protagonistes » : l'enfant avec toutes ses caractéristiques et le livre tactile avec toutes ses propriétés. Nous pensons que les facteurs « sujet » relatifs à l'enfant et les facteurs « objet » relatifs au livre (les images en l'occurrence) interagissent de manière complexe et déterminent les processus de compréhension de l'image tactile explorée. Afin d'illustrer les liens subtils entre ces différentes variables, nous avons travaillé à l'élaboration d'un modèle rapporté en Figure 4.

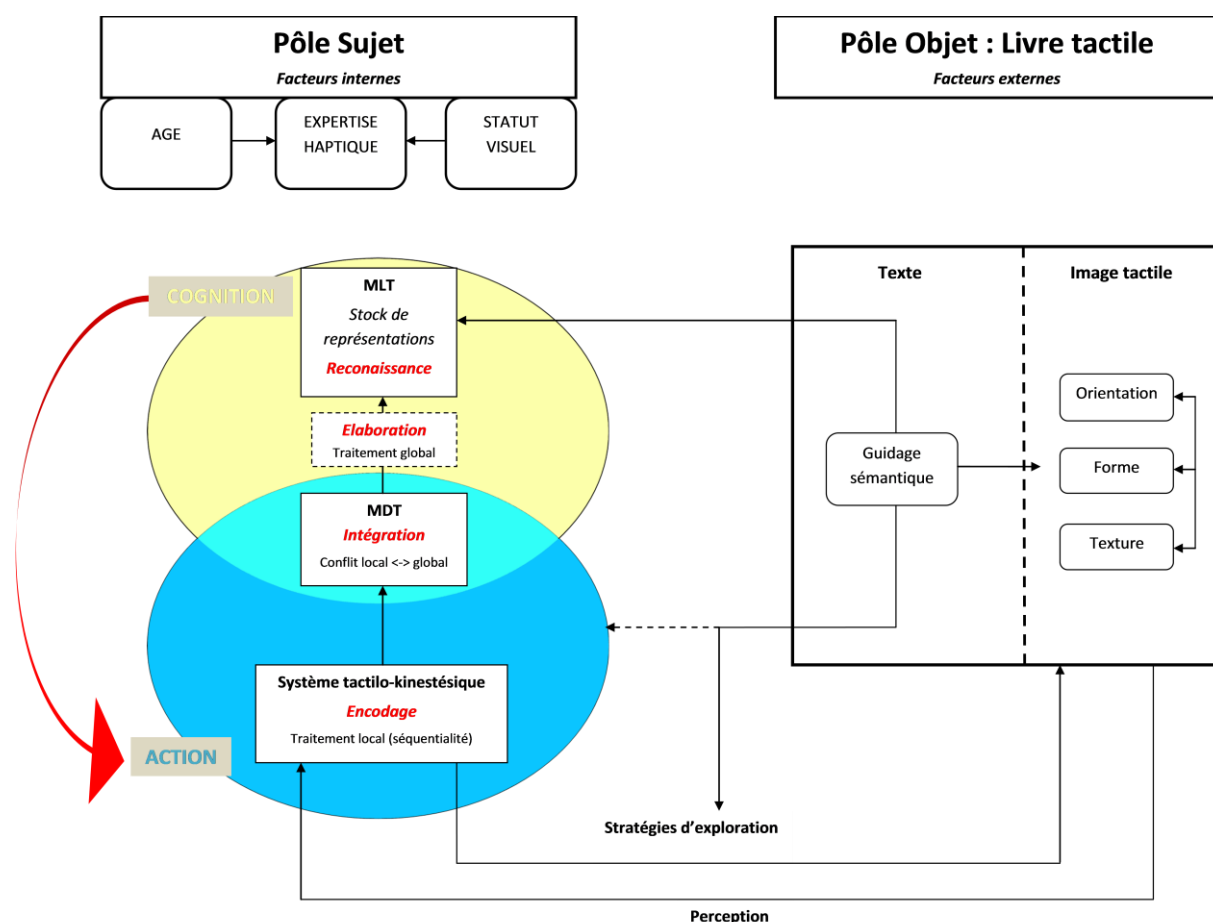


Figure 4. Modèle de fonctionnement cognitivo-exploratoire face à une image tactile

Ce modèle définit clairement les variables du pôle « sujet » (l'enfant) et du pôle « objet » (le livre) auxquelles nous nous sommes intéressés. Concernant le pôle « sujet », nous avons matérialisé une sphère cognition et une sphère action qui entretiennent des relations étroites. La sphère « *action* » rassemble les aspects qui ont trait aux mouvements de la main et aux sensations kinesthésiques provoquées par ces mouvements. La « *sphère cognition* » englobe le traitement de l'information haptique. Afin de déterminer les processus à l'œuvre au sein de ces deux sphères, nous nous sommes inspirés de travaux menés par Lederman et Klatkzy (Lederman, Klatkzy, Chataway & Summers., 1990). Ces auteurs ont identifié trois étapes qui déterminent le processus d'identification d'un pattern bidimensionnel. La première étape correspond à l'encodage, au cours duquel sont prélevées les informations haptiques grâce à l'exploration manuelle. La seconde étape concerne l'élaboration mentale, pendant laquelle est créée une image mentale à partir des informations haptiques perçues. Enfin, la troisième étape est définie par l'identification de l'objet exploré, grâce à une comparaison entre l'image mentale créée et les images disponibles en mémoire. Nous pensons que les processus mis en place au niveau perceptivo-moteur comme au niveau cognitif vont être influencés par les facteurs « sujet ». Nous en avons sélectionnés trois : le statut visuel, l'expertise haptique et l'âge chronologique.

Concernant le pôle « objet », nous avons fait le choix d'étudier l'impact de quatre facteurs propres au livre et à l'image tactile : le guidage sémantique permis par l'histoire, l'orientation, la forme et la texture. La littérature actuelle nous pousse à considérer que ces variables ont également une influence sur les processus cognitivo-exploratoires des enfants.

Ce modèle est appelé à évoluer au fil des expériences qui jalonnent ce travail de thèse. Une nouvelle version en sera proposée au moment de la discussion générale, à la lumière des différents résultats obtenus.

6 NOTRE DEMARCHE

L'objectif de cette thèse est d'appréhender les spécificités du système perceptif haptique des enfants déficients visuels afin de mieux comprendre l'origine de leurs difficultés face aux images tactiles illustrant les livres qui leur sont destinés. Nous visons également à élaborer des consignes pratiques au niveau de la conception des albums et des conseils pédagogiques concernant l'éducation au toucher. La littérature exposée précédemment montre que les travaux sur la perception haptique des enfants déficients visuels sont rares. Ceux sur la

perception des images tactiles par ces enfants le sont encore plus. Les questions autour de la compréhension des images tactiles restent donc entières et elles sont nombreuses.

Afin d'appréhender de manière globale les enjeux qui sous-tendent la compréhension des images tactiles, nous avons élaboré deux axes de réflexion, qui constituent les deux grandes parties de ce travail de thèse. Le premier axe de réflexion se concentre sur l'enfant qui explore des images tactiles, alors que le second axe de réflexion se focalise sur les propriétés de ces images.

6.1.1 1^{ER} AXE DE REFLEXION : L'ENFANT QUI EXPLORE

Lorsqu'un enfant touche et explore une image en relief dans un livre tactile illustré, un ensemble de processus cognitifs s'enclenchent pour traiter les informations perçues par le système haptique et activer les représentations stockées en mémoire à long terme afin d'accéder à la reconnaissance des éléments constituant l'image.

Dans cette première partie, trois principales questions ont guidé notre travail expérimental et nos analyses : Comment les enfants reconnaissent-ils les objets bidimensionnels ? Quelles stratégies d'exploration mettent-ils en place pour appréhender les images tactiles ? Comment les images sont-elles perçues dans le temps et dans l'espace de la page ? Entre reconnaissance et dynamique des explorations haptiques se dessinent des liens étroits que nous avons tenté d'explicitier à la lumière des caractéristiques propres aux enfants : leur degré de handicap visuel, leur âge, et leur niveau d'expertise tactile. Nous avons également pris en compte l'impact de la sémantique convoyée par le texte du livre sur ces relations complexes qui unissent cognition et action.

Ce premier axe de notre travail, intitulé *Compréhension tactile et spécificités des enfants qui explorent*, s'attache à analyser et à faire des liens entre compréhension tactile, stratégies globales d'exploration et investissement spatio-temporel de l'image en relief découverte par les enfants dans un livre tactile illustré. Nous avons observé la manière dont ce langage tactile vis-à-vis de l'image se développe en fonction de l'âge, de l'acuité visuelle, de l'expertise haptique, en le mettant en relation avec le guidage par les informations sémantiques portées par le texte. Ce premier volet est composé de trois chapitres. Le premier chapitre s'intéresse aux processus d'identification des éléments qui composent les images tactiles en fonction des caractéristiques des enfants et du guidage sémantique. Le second chapitre est centré sur les stratégies d'explorations mises en œuvre par les enfants pour explorer les images tactiles. Les stratégies d'explorations regroupent les procédures

d'exploration telles qu'elles ont été décrites par Lederman et Klatsky (1987), mais également le nombre de mains utilisées pour explorer l'image. Enfin, le troisième chapitre traite des aspects spatio-temporels des explorations. Dans ce chapitre, nous proposons une approche novatrice de l'étude des stratégies exploratoires basée sur la manière dont l'espace et le temps sont appréhendés par les mains de l'enfant. Grâce à un logiciel spécialisé permettant de quantifier le toucher dans l'espace de l'image, nous avons cherché à comprendre comment se déroulent dans le temps et dans l'espace les explorations de l'enfant. Plus que des comportements tactiles ponctuels face à un stimulus, c'est la dynamique d'exploration dans sa globalité que nous avons étudiée.

6.1.2 2ND AXE DE REFLEXION : L'IMAGE EXPLORÉE

Après nous être centrés sur le sujet, nous nous sommes intéressés à l'objet. Nous avons donc étudié les contraintes que les caractéristiques spécifiques des images en relief peuvent faire peser sur les capacités d'exploration haptique des enfants. La réflexion qui fonde ce second axe traite de l'adéquation entre image tactile et expérience sensorielle des enfants déficients visuels. Quelles caractéristiques ces images tactiles doivent-elles présenter pour que les enfants les interprètent de la manière la plus aisée possible ? Afin de répondre à cette question, nous avons choisi de nous focaliser sur trois propriétés des images tactiles : l'orientation, la forme et la texture. Cette seconde partie s'intitule : *Compréhension des images tactiles et contraintes liées à l'image explorée*. Elle se compose de deux chapitres. Le premier chapitre s'intéresse à l'impact de l'orientation gauche-droite des objets 2D sur la compréhension des images tactiles. Le second chapitre étudie la prégnance de la forme et de la texture dans ces processus de compréhension.

L'originalité de notre démarche réside dans le fait que nous nous sommes attachés à étudier la perception et la compréhension des images tactiles au plus proche de la manière dont les enfants les découvrent à l'intérieur des albums tactiles illustrés. Cette volonté se traduit notamment par l'étude de l'impact du guidage sémantique véhiculé par l'histoire qui accompagne l'image dans l'album tactile illustré sur la compréhension de ces images. Elle s'observe également par le choix d'un matériel expérimental exclusivement constitué d'images tactiles multi-matières telles qu'on les trouve dans les livres édités par la maison d'édition LDQR.

PARTIE 1 :

COMPREHENSION DES IMAGES TACTILES ET SPECIFICITES DES ENFANTS QUI EXPLORENT

Cette première partie est consacrée à l'étude de l'impact des spécificités des enfants sur la compréhension des images tactiles. Lorsqu'un enfant touche et explore une image en relief, un ensemble de processus cognitifs s'enclenchent pour traiter les informations perçues par le système haptique et activer les représentations stockées en mémoire à long terme afin d'accéder à la reconnaissance des éléments constituant l'image. Ces mouvements d'exploration et les processus cognitifs d'identification qui en découlent sont influencés par différents facteurs spécifiques aux enfants. Nous en avons défini trois : 1) la présence d'un handicap visuel et son degré de sévérité, 2) l'âge ainsi que 3) le niveau d'expertise dans le domaine de l'exploration haptique. Nous avons mis en perspective ces trois facteurs propres au sujet avec une quatrième variable relative à la situation de lecture : le guidage sémantique convoyé par le texte qui accompagne les images dans le livre. Tous ces facteurs interagissent et jouent un rôle dans la manière dont les images tactiles vont être perçues et comprises par les enfants.

Afin d'étudier le rôle des facteurs « sujet » dans la compréhension des images tactiles nous avons conduit une expérience relativement complexe de part le nombre de variables qui ont été manipulées. Afin de faciliter la lecture des résultats obtenus, nous avons scindé nos observations en trois chapitres. *Le premier chapitre* aborde le problème de la compréhension des images tactiles par le produit de sa résolution c'est à dire la reconnaissance de l'objet représenté. *Le second chapitre* met en lien ces capacités d'identification avec les mouvements d'explorations mis en œuvre afin de récolter les informations haptiques relatives à l'image. *Le troisième chapitre* étudie la manière dont ces mouvements d'explorations se déploient dans le temps et dans l'espace de l'image.

1. INTRODUCTION

Ce premier chapitre s'intéresse aux processus de reconnaissance des objets représentés sur les images tactiles en fonction des spécificités des enfants (statut visuel, âge, expertise haptique) et du guidage sémantique. Nous allons faire le point sur les travaux déjà menés concernant l'influence de ces différents facteurs sur les identifications d'images en relief, afin d'argumenter les hypothèses qui ont guidé cette première expérience.

1.1. INFLUENCE DU GUIDAGE SEMANTIQUE

De rares travaux se sont intéressés à l'apport d'indices sémantiques sur la compréhension des images en relief auprès d'adultes (Heller, 1989 ; Heller, Calcaterra, Burson, & Tyler, 1996). Ainsi, lors d'une tâche d'identification de dessins d'objets usuels en relief, Heller et al. (1996) précisent à des adultes (voyants sous occlusion visuelle et aveugles) la catégorie de l'objet représenté par l'image avant que cette dernière ne soit explorée. Cet indice sémantique a un effet bénéfique sur la compréhension, puisque les sujets voyants comme les sujets aveugles reconnaissent mieux ce que représente l'image en présence de l'indice. Les travaux sur l'identification d'images en relief qui ne fournissent pas d'indice sémantique permettant de situer la catégorie à laquelle appartient l'objet représenté montrent des taux d'identification particulièrement faibles chez les sujets aveugles comme chez les sujets voyants travaillant sans voir (Klatzky, Chataway, & Summers, 1990 ; Magee & Kennedy, 1980 ; Kennedy & Fox, 1977). Chez les enfants, aucune étude n'a analysé l'effet de l'information sémantique sur la compréhension des images en relief. Les récents travaux menés sur l'identification des images tactiles chez les plus jeunes (Theurel, et al., 2013 ; Picard, Albaret, & Mazella, 2013, 2014) donnent systématiquement la catégorie de l'image à identifier afin d'éviter des effets plancher.

Nous constatons donc qu'outre la rareté des travaux menés sur le sujet, voire l'absence de travaux auprès des enfants, les études réalisées se limitent aux effets d'apports ponctuels d'informations sémantiques relatives à la catégorie de l'objet représenté sur l'image tactile. A notre connaissance, l'impact du guidage sémantique impliqué par un texte sur la compréhension par les enfants d'une scène tactile (tel qu'il en va dans la situation écologique de la lecture d'un album tactile illustré) n'a encore jamais été étudié. L'effet inverse a cependant été examiné par Pring et Rusted (1985). Ces auteurs ont en effet testé l'impact de

l'illustration tactile sur la rétention d'un texte. Ce travail sur la mémorisation de texte chez les adolescents aveugles montre que lorsque l'on demande à des sujets non voyants de 14 ans de retenir un texte, dont certains passages sont illustrés, ces derniers retiennent mieux les parties qui bénéficient d'une illustration tactile. L'illustration tactile facilite donc le traitement du texte et nous postulons qu'inversement le texte, qui constitue un guidage sémantique spécifique des explorations, favorisera les identifications correctes des éléments de l'image tactile, bien plus qu'une orientation sémantique globale donnée par le thème de l'image. De plus, nous pensons que le guidage sémantique, à travers les processus top-down qu'il implique, va interagir avec les facteurs spécifiques aux enfants leur permettant soit d'accentuer leurs bénéfices soit de compenser leurs difficultés.

1.2. INFLUENCE DU STATUT VISUEL

Les livres tactiles sont destinés à tous les enfants, mais plus particulièrement aux enfants dont la sévérité du handicap visuel ne permet pas de profiter des images imprimées dans les livres illustrés classiques. Nous avons donc fait le choix d'étudier la compréhension des images tactiles chez les enfants présentant des troubles visuels précoces allant de la malvoyance sévère à la cécité complète. Afin de mesurer le poids du handicap visuel sur cette compréhension, leurs performances d'identification ont été comparées à celles d'enfants voyants mis en situation aveugle.

Qu'en est-il des connaissances actuelles relatives à l'impact du degré de déficience visuelle sur les capacités d'identification des images tactiles ?

Chez les adultes, Morton Heller a comparé les performances de sujets sévèrement malvoyants, aveugles précoces, aveugles tardifs et voyants dans des tâches impliquant des images tactiles (Heller, Brackett & Sctoggs, 2002 ; Heller, Wilson, Steffen, Yoneyama, & Brackett, 2003 ; Heller, Riddle, Fulkerson, Wemple, McClure Walk, Guthrie, Ktanz, & Klaus, 2009). Dans un premier corpus d'études (Heller et al, 2002 ; Heller et al, 2003), les sujets explorent des dessins en relief « cibles » représentant des objets du quotidien, puis parmi quatre autres dessins tactiles, ils doivent indiquer sur lequel apparaît la cible préalablement touchée. Les résultats montrent que les adultes malvoyants réussissent mieux que les adultes aveugles et voyants. Ces résultats sont répliqués dans une autre étude (Heller, Riddle, et al., 2009) où les sujets doivent appairer des objets 3D complexes à leur dessin 2D correspondant. Encore une fois, les adultes malvoyants surpassent leurs pairs aveugles et voyants en termes de performances d'appariement. Les auteurs expliquent ces performances par le fait que les

adultes malvoyants bénéficient à la fois d'une éducation tactile précoce (contrairement aux adultes voyants et aveugles tardifs) et d'une expérience visuelle grâce à leur potentiel visuel restant (contrairement aux adultes aveugles congénitaux). Précisons que ces études impliquent une tâche d'appariement et non d'identification. Elles analysent donc des performances mettant en jeu exclusivement la perception haptique, laissant de côté les capacités de récupération en mémoire sémantique et de dénomination nécessaires à l'identification de l'objet représenté sur l'image. Dans le cas de l'identification d'images tactiles en tant que telle, le bénéfice d'une combinaison expérience haptique – expérience visuelle est confirmé par une autre étude de Heller (1989). Dans cette étude, l'auteur montre que les adultes aveugles tardifs sont avantagés dans une tâche d'identification d'images tactiles comparativement aux adultes atteints d'une cécité congénitale ou voyants. Grâce à leur expérience visuelle, les adultes qui ont une cécité acquise ou qui sont malvoyants ont déjà été confrontés visuellement à des représentations 2D. Ils connaissent les codes graphiques, possèdent un répertoire de représentations visuo-haptiques et présentent une modalité tactile entraînée, ce qui leur permet d'être mieux armés face à l'identification de formes bidimensionnelles au travers du système haptique.

Cet avantage s'observe-t-il également chez les enfants ?

Les travaux s'intéressant aux différences de performances d'identification d'images tactiles en fonction du degré de handicap visuel chez les enfants sont peu nombreux. Une étude de D'Angiulli, Kennedy, et Heller (1998) met en évidence de meilleures performances d'identification chez des enfants aveugles âgés de 8 à 13 ans que chez leurs pairs voyants : 46% des 8 images explorées sont reconnues par les enfants aveugles contre 9% pour les enfants voyants. Ces observations ont une implication importante, car elles montrent que l'expérience visuelle n'est pas strictement nécessaire pour comprendre des images tactiles, la familiarité avec les images en relief et l'expérience haptique que possèdent les enfants aveugles semble également entrer en compte. Cette considération rejoint la position de Kennedy (1997), qui concevant l'information perceptive comme amodale, développe l'idée selon laquelle l'essentiel de l'information spatiale pertinente pour l'identification d'images bidimensionnelles est accessible à la modalité haptique. Ainsi, dans cette perspective, l'interprétation des contours d'une forme peut être alimentée aussi bien par des informations codées visuellement que haptiquement. Kennedy argumente en faveur de la capacité des personnes aveugles à comprendre les images tactiles car pour lui, l'aptitude à discriminer et interpréter le contour de la surface est indépendante de la présence d'inputs visuels. La

difficulté de la perception haptique des images tactiles réside principalement dans le fait que ces images constituent des représentations bidimensionnelles d'objets tridimensionnels. Or le passage de la 3D à la 2D implique des déformations de l'objet, ayant pour conséquence une inadéquation entre expérience perceptive haptique et représentation picturale de cet objet, d'où la difficulté à identifier des images en relief.

Concernant l'influence de la forme et de la texture sur les capacités d'identification d'images tactiles chez les enfants déficients visuels en fonction du degré de leur handicap, nous n'avons trouvé aucuns travaux de référence dans la littérature.

Voici donc l'état de la littérature au moment où nous avons formulé nos hypothèses de travail sur l'influence du statut visuel au niveau de l'identification des images tactiles. En prenant en considération les différents travaux menés sur le sujet auprès d'adultes et d'enfants, nous avons postulé que les enfants malvoyants qui bénéficient d'une expérience perceptive à la fois visuelle et haptique, et qui ont l'habitude de manipuler des images tactiles auront une meilleure compréhension tactile que les enfants aveugles et voyants. Ils fourniront un plus grand nombre d'identifications relatives aux dimensions conceptuelles et géométriques des objets bi-dimensionnels. Les enfants aveugles qui ont un avantage en termes de manipulation d'images tactiles et de perception haptique présenteront de meilleures performances que leurs camarades voyants. Ils seront quant à eux plus sensibles à la texture, car cette propriété est la mieux traitée par le toucher.

1.3. D'UN POINT DE VUE DEVELOPPEMENTAL

L'identification d'une image tactile induit un ensemble de mécanismes cognitifs complexes. En amont, l'objet dessiné doit être connu et sa représentation doit être stockée en mémoire sémantique. Au cours de l'exploration, les différentes parties de l'image doivent être encodées, puis elles doivent être intégrées afin de construire une image mentale de l'objet perçu. Enfin la représentation stockée en mémoire sémantique doit être récupérée et appareillée à l'image mentale construite. Ce processus, décrit par Lederman, Klatzsky, Chataway et Summers (1990), implique des aptitudes perceptives haptiques (encodage), ainsi que des capacités mnésiques à court terme (construction de l'image mentale) et à long terme (récupération de la représentation mentale) qui se développent avec l'âge (Ballestros, Bardisa, Millar, & Reales, 2005).

Nous avons vu que les études sur l'identification d'images tactiles chez les enfants font défaut, celles s'intéressant spécifiquement au développement des capacités

d'identification étaient inexistantes jusqu'à peu. En effet, une étude de Picard, Albaret et Mazela publiée en 2013 a analysé l'impact de l'âge sur la perception haptique de sujets voyants sous occlusion visuelle. Trente-neuf participants répartis en trois groupes d'âge (5-7 ans, 13-17 ans et 20 - 25 ans) ont identifié une série de 10 images en relief d'objets usuels. Les résultats obtenus vont dans le sens d'une amélioration significative des capacités d'identification avec l'âge : 33% d'images reconnues pour le groupe d'enfants, 69% pour le groupe d'adolescents et 87% pour le groupe de jeunes adultes. Les auteurs mettent en lien le développement de la capacité d'identification des images tactiles avec celui de la capacité en mémoire haptique à court terme qu'ils ont observé en parallèle (Picard & Monnier, 2009). Les capacités mnésiques qui évoluent avec l'âge sont donc déterminantes dans le développement des capacités d'identification des images tactiles.

Qu'en est-il de la capacité de conceptualisation ? Dans quelle mesure influence-t-elle le type de reconnaissances (texture, géométriques ou sémantiques) faites par les enfants ?

Concernant les capacités de conceptualisation nécessaires pour accéder à une reconnaissance sémantique de l'objet représenté sur l'image, Piaget et Inhelder (1947) ont montré que l'aptitude à traduire des perceptions haptiques d'objets bidimensionnels en images visuelles évolue avec l'âge chez les enfants voyants. Cette aptitude stéréognosique se développe entre 3 et 7 ans environ. Tout d'abord, entre 3 et 4 ans, les enfants reconnaissent facilement des objets familiers et commencent à comprendre l'abstraction des formes dans une limite topologique, comme l'ouverture, la fermeture, l'enlacement.... Puis, petit à petit, ils arrivent à différencier les formes rectilignes des formes curvilignes, sans pour autant distinguer les différences à l'intérieur d'une catégorie (rectangle versus carré ou cercle versus ellipse). Vers 4-5 ans, les enfants commencent à s'approprier l'espace euclidien et c'est à partir de 6-7 ans, avec l'entrée dans la période opératoire et une exploration haptique plus organisée, qu'ils arrivent à identifier des formes complexes comme des étoiles ou des trapézoïdes. Un développement similaire est observé chez les enfants aveugles (Gottesman, 1971). Cependant, même si leur compréhension topologique est semblable aux enfants voyants, ils éprouvent des difficultés pour passer de la compréhension d'un espace projectif à un espace euclidien (Simpkins, 1979).

Nous supposons donc qu'avec l'âge et le développement des capacités mnésiques comme des capacités de conceptualisation, les aptitudes de compréhension des images tactiles vont s'améliorer. Les plus jeunes vont avoir tendance à se référer davantage à la texture comparativement aux enfants plus âgés, et en grandissant, les reconnaissances vont évoluer

vers le géométrique pour finalement se centrer de plus en plus sur le sémantique. Toutefois, ce développement devrait être plus lent à s'établir chez les enfants aveugles que chez les malvoyants.

Notons cependant que dans une vision écologique, nous avons fait le choix d'adapter la complexité des images tactiles en fonction de l'âge des enfants, en leur présentant des images issues d'ouvrages destinés à leur classe d'âge. De cette manière, nous allons pouvoir étudier les stratégies d'identification et d'exploration dans le temps et dans l'espace de la page au plus près de ce que les enfants rencontrent ou pourraient rencontrer dans leurs lectures. Ce choix peut néanmoins avoir un impact sur l'effet de l'âge attendu, dans le sens où présenter aux enfants un matériel adapté à leur âge peut contribuer à réduire, voire annuler, cet effet. On peut ainsi reconnaître d'emblée que nos choix méthodologiques ne nous placent pas dans les meilleures conditions pour isoler les effets d'âge proprement dits. C'est la raison pour laquelle il nous est apparu important de prendre en considération un facteur d'apprentissage, l'influence que peut avoir le degré d'expertise haptique de l'enfant sur ses explorations et reconnaissances.

1.4. INFLUENCE DE L'EXPERTISE HAPTIQUE

Pour pouvoir reconnaître, il faut d'abord connaître. Connaître un objet implique d'y avoir été confronté suffisamment de fois pour en avoir construit une représentation mentale stable et flexible. La répétition des rencontres entre l'enfant et les objets qui l'entourent vont lui permettre d'extraire de ces objets des propriétés invariantes à partir desquelles il va intérioriser un prototype de la catégorie à laquelle appartiennent les dits objets. L'élaboration de ce type de représentations prototypiques va permettre à l'enfant de développer ses capacités de généralisation et de conceptualisation qui vont largement influencer ses capacités de reconnaissance. Si l'âge entre bien évidemment en compte dans le développement de ces capacités d'abstraction, un autre facteur est à prendre en compte chez les enfants déficients visuels : l'expertise haptique. Plus les enfants vont être encouragés à explorer haptiquement les objets qui les entourent, plus ils vont avoir la possibilité d'enrichir leur stock de représentations sémantiques.

Que dit la recherche concernant l'influence de l'expertise haptique sur les capacités d'identification des images tactiles ?

Une étude de Behrmann et Ewell (2003) montre que l'identification de dessins tactiles peut être modifiée par l'expérience et l'apprentissage. Les auteurs entraînent 35 adultes

voyants sous occlusion visuelle à reconnaître des patterns tactiles bidimensionnels (formes abstraites). Deux phases d'entraînement sont organisées à deux jours d'intervalle. Les entraînements se déroulent de manière quasi similaire : les sujets doivent associer chaque pattern avec son nom (énoncé par un ordinateur). Chaque phase d'entraînement est suivie d'une phase test qui évalue les performances de reconnaissance. Durant les phases test, on présente aux sujets, qui ont toujours les yeux bandés, deux patterns rencontrés lors de l'entraînement et le nom d'une des deux formes est énoncé. La tâche consiste alors à désigner le pattern dont le nom a été formulé. Lors de la première phase, les sujets sont considérés comme « novices » ; lors de la seconde phase, ils sont considérés comme « experts ». Les résultats mettent en évidence que les experts ont de meilleures performances de reconnaissance que les novices (91.3% contre 81.6%).

Cet effet positif de l'expertise haptique observé chez les adultes voyants explorant sans voir se retrouve-t-il chez un public atteint d'un handicap visuel ?

L'effet de l'utilisation régulière de patterns bidimensionnels en relief chez des adultes aveugles a été étudié par Dulin (Dulin & Hatwell, 2006 ; Dulin, 2007). Un certain nombre d'études comparant les performances d'aveugles tardifs et précoces dans des tâches haptiques, mettent en avant l'avantage des aveugles tardifs qui bénéficient d'une expérience visuelle. (Heller, 1989a, Heller, Brackett, & Scoggs, 2002 ; Heller, Wilson, et al., 2003 ; Heller, Riddle, et al., 2009). Dans ses travaux, Dulin montre que la pratique individuelle haptique a un impact plus fort que l'expérience visuelle dans la réussite à des tâches d'imagerie mentale (rotation mentale, déplacement mental dans l'espace, estimation mentale de la longueur). Des aveugles congénitaux experts dans l'utilisation de matériel tactile bidimensionnel obtiennent de meilleurs résultats que des aveugles tardifs non experts, et cela malgré l'avantage de l'expérience visuelle de ces derniers.

Une récente étude confirme ces observations chez les enfants déficients visuels. Theurel et ses collaborateurs (2013) ont mis en évidence que des enfants aveugles précoces âgés de 6 à 16 ans reconnaissent mieux des images tactiles représentant des objets usuels lorsqu'ils présentent un degré de pratique de lecture de livres tactiles illustrés modéré à régulier, contrairement aux enfants justifiant d'un niveau de pratique tactile peu fréquent, voire absent (42% contre 27%).

Les travaux prenant en compte l'impact de l'expertise haptique dans des tâches d'identification haptique font une nouvelle fois défaut, peu importe le public étudié. De plus, les études menées sur le sujet sont basées sur des comparaisons binaires entre « experts » et

« novices ». Nous proposons une analyse plus fine de l'impact de l'expertise tactile sur la compréhension des images tactiles chez les enfants déficients visuels (aveugle précoces et malvoyants) en définissant trois niveaux d'expertise. Nous nous attendons donc, en adéquation avec la littérature sur ce thème, à ce que la compréhension des images tactiles s'améliore avec le degré d'expertise tactile. Nous pensons, en outre, qu'avec l'expertise tactile, les enfants aveugles précoces compenseront leurs difficultés supposées et présenteront des performances d'identification similaires aux enfants malvoyants.

2. METHODE

Nous allons à présent aborder de manière détaillée les aspects méthodologiques de notre expérience princeps. Nous rappelons que les trois chapitres qui composent cette première partie sur le rôle des facteurs « sujet » dans la compréhension des images tactiles relatent les observations faites dans le cadre de cette même expérience. La méthode qui va être exposée est donc commune à ces trois chapitres. Pour les chapitres 2 et 3, nous développerons juste les particularités propres aux variables qui y sont étudiées.

2.1. SUJETS

Au total, cent quarante-deux enfants ont pris part à cette étude : soixante-dix enfants porteurs d'un handicap visuel et soixante-douze enfants voyants (groupe contrôle).

Parmi les *enfants déficients visuels*, quarante-quatre sont atteints de cécité précoce. Par cécité précoce, nous entendons une acuité visuelle inférieure à $1/60^{\text{ème}}$ après correction, ce qui correspond aux catégories 4 et 5 de l'OMS⁶ et une perte de la vue dans les deux premières années de vie. Les vingt-six enfants restants sont atteints de malvoyance sévère. Par malvoyance sévère, nous entendons une acuité visuelle comprise entre $1/20^{\text{ème}}$ et $1/60^{\text{ème}}$ après correction, ce qui correspond à la catégorie 3 de l'OMS⁷. Aucun de ces enfants ne présente de troubles associés à la déficience visuelle, en particulier des troubles praxiques ou cognitifs. Ils sont insérés dans un cursus scolaire normal, et ne présentent donc pas de retard ou d'avance en ce qui concerne les apprentissages scolaires. Leur langue maternelle est le français et ils évoluent dans un milieu socio-économique moyen.

⁶ Voir annexe 1 p. 239 pour plus de précisions sur les catégories OMS de la déficience visuelle.

⁷ Ibid. p. 239

Afin d'obtenir un échantillon de sujets le plus fourni possible, des partenariats avec des établissements spécialisés répartis sur toute la France ont été développés. Le Tableau 1 présente le réseau d'établissements partenaires qui a ainsi été mis en place, les expérimentateurs (dont l'auteur de ce travail de thèse) se déplaçant dans ces établissements pour procéder aux enregistrements des enfants.

Tableau 1 Liste des établissements qui ont participé à la première expérimentation et nombre d'enfants par établissement.

Département	Ville	Nom de l'établissement	Nb d'enfants rencontrés
Allier	Yzeure	Institut des Jeunes Aveugles « Les Charmettes »	10
Aveyron	Rodez	Centre Départemental pour Déficients Sensoriels	2
Côte d'Or	Dijon	Le Clos Cheauvau	2
Gironde	Ambares et Lagrave	Centre de Soins et d'Éducation Spécialisés pour Déficients Visuels Alfred Peyrelongue	4
Haute Garonne	Toulouse	Institut des Jeunes Aveugles	6
	Ramonville Saint-Agne	Centre Lestrade	9
Loire Atlantique	Vertou	Institut des Hauts-Thébaudières	23
Lot	Cahors	Service Aide Soutien à l'Intégration	2
Maine et Loire	Angers	Institut Montéclair	6
Morbihan	Auray	Service pour Jeunes Déficients Visuels	6

Afin de constituer le *groupe de soixante-douze enfants voyants*, nous avons collaboré avec une école maternelle Lyonnaise (l'école maternelle Jean Jaurès), et une école primaire située à Dijon (l'école Drapeau). Aucun de ces enfants n'est atteint de troubles praxiques ou cognitifs, et ils ne présentent pas de retard ou d'avance en ce qui concerne les apprentissages scolaires. Comme les enfants déficients visuels, leur langue maternelle est le français et ils évoluent dans un milieu socio-économique moyen.

Les passations se sont déroulées soit au sein des établissements spécialisés, soit à l'école (enfants voyants), en fonction et dans le respect de l'emploi du temps des enfants. Pour chaque enfant, une demande d'autorisation pour participer à l'expérience a été signée par les parents. De plus, une fiche de renseignements a été remplie par les parents, et/ou par les enseignants. Elle nous a permis de constituer les différents groupes. Elle comporte notamment des informations sur l'acuité visuelle (via l'accès d'une personne soignante autorisée au dossier médical de l'enfant pour la précision de cette information), la cause du handicap visuel, la familiarité de l'enfant avec la pratique tactile à l'école et à la maison (lecture braille et images tactiles). Ces documents sont consultables en annexe 2, p. 241. Toutes les expérimentations réalisées dans le cadre de ce travail de thèse ont été conduites suivant les principes de la déclaration d'Helsinki de L'Association Médicale Mondiale (AMM) sur les principes éthiques applicables à la recherche médicale impliquant des êtres humains.

Le Tableau 2 présente les caractéristiques principales de l'échantillon d'enfants qui ont participés à cette première expérimentation.

Tableau 2 Caractéristiques des enfants ayant participé à l'étude sur l'influence des facteurs sujets sur la compréhension des images tactiles (expérience 1).

	Groupe d'âge	Condition	Effectif	Age moyen (années ; mois) <i>écart type (mois)</i>	Sexe	catégorie OMS	Pratique braille	Pratique images tactiles	Expertise
Aveugles	3-6 ans	Sans Histoire	6	M=4 ; 1 11	4 filles 2 garçons	C4=1 C5=5	Nv.1 =5 Nv. 2 =0 Nv. 3 =1	Nv.1 = 4 Nv. 2 =0 Nv. 3 =2	4 débutants 1 intermédiaire 1 expert
		Avec Histoire	6	M=4 ; 4 7	4 filles 2 garçons	C4=1 C5=5	Nv.1 =4 Nv. 2 =1 Nv. 3 =1	Nv.1 = 3 Nv. 2 =1 Nv. 3 =2	4 débutants 1 intermédiaire 1 expert
	6-8 ans	Sans Histoire	5	M=6 ; 10 9	2 filles 3 garçons	C4=1 C5=4	Nv.1 =0 Nv. 2 =1 Nv. 3 =4	Nv.1 = 2 Nv. 2 =1 Nv. 3 =2	1 débutant 2 intermédiaires 2 experts
		Avec Histoire	5	M=7 ; 2 7	2 filles 3 garçons	C4=1 C5=4	Nv.1 =0 Nv. 2 =2 Nv. 3 =3	Nv.1 = 2 Nv. 2 =0 Nv. 3 =3	1 débutant 2 intermédiaires 2 experts
	8-10 ans	Sans Histoire	6	M=9 ; 3 7	3 filles 3 garçons	C4=0 C5=6	Nv.1 =0 Nv. 2 =1 Nv. 3 =5	Nv.1 = 0 Nv. 2 =4 Nv. 3 =2	0 débutant 2 intermédiaires 4 experts
		Avec Histoire	6	M=9 ; 3 7	3 filles 3 garçons	C4=0 C5=6	Nv.1 =0 Nv. 2 =2 Nv. 3 =4	Nv.1 = 0 Nv. 2 =4 Nv. 3 =2	0 débutant 2 intermédiaires 4 experts
	10-12 ans	Sans Histoire	4	M=10 ; 7 9	1 fille 3 garçons	C4=0 C5=4	Nv.1 =0 Nv. 2 =0 Nv. 3 =4	Nv.1 = 1 Nv. 2 =2 Nv. 3 =1	0 débutant 2 intermédiaires 2 experts
		Avec Histoire	4	M=11 ; 3 11	1 fille 3 garçons	C4=0 C5=4	Nv.1 =0 Nv. 2 =0 Nv. 3 =4	Nv.1 = 0 Nv. 2 =2 Nv. 3 =2	0 débutant 2 intermédiaires 2 experts
	3-6 ans	Sans Histoire	3	M=5 ; 1 3	1 fille 2 garçons	C3=3	Nv.1 =2 Nv. 2 =0 Nv. 3 =1	Nv.1 = 2 Nv. 2 =1 Nv. 3 =0	2 débutants 0 intermédiaire 1 expert
		Avec Histoire	3	M=4 ; 6 5	1 fille 2 garçons	C3=3	Nv.1 =1 Nv. 2 =0 Nv. 3 =1	Nv.1 = 2 Nv. 2 =0 Nv. 3 =1	2 débutants 0 intermédiaire 1 expert
Malvoyants	6-8 ans	Sans Histoire	3	M=6 ; 8 12	2 filles 1 garçon	C3=3	Nv.1 =1 Nv. 2 =0 Nv. 3 =2	Nv.1 = 2 Nv. 2 =0 Nv. 3 =1	1 débutant 1 intermédiaire 1 expert
		Avec Histoire	3	M=7 ; 3 6	2 filles 1 garçon	C3=3	Nv.1 =0 Nv. 2 =1 Nv. 3 =2	Nv.1 = 2 Nv. 2 =1 Nv. 3 =0	1 débutant 1 intermédiaire 1 expert
	8-10 ans	Sans Histoire	5	M=8 ; 10 10	3 filles 2 garçons	C3=5	Nv.1 =0 Nv. 2 =1 Nv. 3 =4	Nv.1 = 1 Nv. 2 =2 Nv. 3 =2	0 débutant 2 intermédiaires 3 experts
		Avec Histoire	5	M=9 ; 1 9	3 filles 2 garçons	C3=5	Nv.1 =0 Nv. 2 =0 Nv. 3 =4	Nv.1 = 2 Nv. 2 =2 Nv. 3 =1	0 débutant 2 intermédiaires 3 experts
	10-12 ans	Sans Histoire	3	M=11 ; 2 10	2 filles 1 garçon	C3=3	Nv.1 =0 Nv. 2 =0 Nv. 3 =2	Nv.1 = 0 Nv. 2 =0 Nv. 3 =3	0 débutant 2 intermédiaires 1 expert
		Avec Histoire	3	M=10 ; 7 8	2 filles 1 garçon	C3=3	Nv.1 =0 Nv. 2 =0 Nv. 3 =3	Nv.1 = 0 Nv. 2 =2 Nv. 3 =1	0 débutant 2 intermédiaires 1 expert
Voyants	3-6 ans	Sans Histoire	11	M=4 ; 9 9	5 filles 6 garçons				
		Avec Histoire	11	M=4 ; 7 6	5 filles 6 garçons				
	6-8 ans	Sans Histoire	11	M=7 ; 1 7	7 filles 4 garçons				
		Avec Histoire	11	M=6 ; 8 8	7 filles 4 garçons				
	8-10 ans	Sans Histoire	6	M=8 ; 7 5	3 filles 3 garçons				
		Avec Histoire	6	M=9 ; 4 8	3 filles 3 garçons				
	10-12 ans	Sans Histoire	8	M=11 ; 1 6	4 filles 4 garçons				
		Avec Histoire	8	M=10 ; 7 8	4 filles 4 garçons				

Les enfants, déficients visuels comme voyants, ont été répartis dans deux conditions (avec guidage sémantique ou sans guidage sémantique) et en quatre groupes d'âges distincts (les 3-6 ans, les 6-8 ans, les 8-10 ans et les 10-12 ans), au sein desquels sont distingués différents niveaux de pratique tactile en fonction des fréquences de lecture en braille et de manipulation d'images tactiles, ainsi que trois degrés d'expertise (débutant, intermédiaire, expert). Les groupes par condition ont été construits de façon à contrôler la répartition par âge, sexe et statut visuel, pour qu'aucune différence entre les groupes n'apparaisse à ce niveau. Par contre, soulignons d'emblée que ce même travail d'équilibrage des groupes n'a pas été possible pour les habitudes de lecture en braille et de manipulation d'images tactiles, variables grâce auxquelles nous avons construit la variable « expertise haptique ».

- *Variable « expertise haptique »*

L'évaluation des fréquences de lecture et de manipulation d'images tactiles, nécessaire uniquement pour les enfants déficients visuels, a été obtenue grâce à des questionnaires remplis par les parents et les enseignants⁸. Ces derniers devaient estimer sur une échelle allant de 1 à 5 les habitudes de lecture en braille et d'image tactile à l'école et à la maison (1 correspondant à aucune pratique et 5 correspondant à une pratique quotidienne). Les scores obtenus à l'école (via les enseignants) et à la maison (via les parents) ont ensuite été moyennés pour la pratique du braille d'une part et pour celle des images tactiles d'autre part. Trois niveaux de pratique ont été définis : le niveau 1, correspondant à une pratique rare voire inexistante (moyenne comprise entre 1 et 2), le niveau 2, correspondant à une pratique mensuelle voire hebdomadaire (moyenne comprise entre 3 et 4) et le niveau 3, correspondant à une pratique pluri-hebdomadaire, voire quotidienne (moyenne supérieure à 4). A partir des fréquences de pratique tactile, nous avons construit une variable d'*expertise haptique*, qui se décline en trois degrés : débutant, intermédiaire et expert. Les différents degrés sont obtenus en additionnant les scores de fréquence de pratique tactile récoltés pour chaque sujet (4 notes de fréquences sur 5 : pratique du braille à l'école / pratique du braille à la maison / pratique des livres tactiles à l'école / pratique des livres tactiles à la maison). Chaque sujet obtient donc une note d'expertise haptique sur 20. Les scores compris entre 0 et 10 correspondent au degré débutant ($n=16$), ceux compris entre 11 et 15 correspondent au degré intermédiaire ($n=24$) et enfin, ceux supérieurs à 15 correspondent au degré expert ($n=30$).

⁸ Le questionnaire est présenté en annexe2 p. 242

- *Etiologie du handicap visuel*

Les principales causes du handicap visuel des enfants qui ont pris part à cette étude sont détaillées dans le Tableau 3.

Tableau 3. Etiologies des déficiences visuelles selon les catégories OMS (expérience 1).

Etiologies		Répartition selon catégories OMS (N)
Malformations oculaires	Microphtalmie	Catégorie 5=2
	Anophtalmie	Catégorie 5=1
Pathologie des milieux transparents	Cataracte bilatérale congénitale	Catégorie 3=5
	Glaucome	Catégorie 5=3
Pathologie rétinienne	Rétinopathie	Catégorie 3=2
		Catégorie 5=7
	Rétinite pigmentaire	Catégorie 3=6
		Catégorie 4=2
		Catégorie 5=2
Atteintes neurologiques	Déficit de la limbe	Catégorie 3=1
	Gliome de la rétine	Catégorie 5=1
	Tumeur cérébrale	Catégorie 3=1
	Déficit hypophysaire	Catégorie 5=1
	Syndrome du bébé secoué	Catégorie 3=1
Pathologie génétique		Catégorie 4=2
		Catégorie 5=7
Etiologie inconnue		Catégorie 3=12
		Catégorie 5=14

Ainsi, la rétinopathie du prématuré ($n=6$) et les pathologies d'origine génétique ($n=9$) sont les principales causes de la déficience visuelle chez les enfants aveugles (catégories 4 et 5 de l'OMS). Concernant les enfants malvoyants (catégorie 3 de l'OMS), ce sont la cataracte congénitale ($n=9$) et la rétinite pigmentaire ($n=6$) qui ont causé en majorité les troubles visuels. Notons que les origines de la cécité restent multiples et indéterminées pour un certain nombre d'enfants (catégorie 3, $n=12$; catégorie 5, $n=14$).

2.2. MATERIEL

Pour les besoins de cette étude, quatre séries d'images tactiles ont été fabriquées par la maison d'édition Les Doigts Qui Rêvent (voir Figure 5). Elles sont issues de livres réellement édités par LDQR. Les images « Bonhomme » et les images « Maison » sont extraites d'albums de la collection « Petipoint » : respectivement, *Petipoint dessine un bonhomme* et *Petipoint bâtit une maison* de N. Caffier. Les images « Ane » et les images « Mer » sont tirées de livres qui ne sont plus commercialisés : respectivement, *Les rois de misère*, de M. Ziolo et D. Dufresne et *La vague*, de C. Piette et R. Hérent.

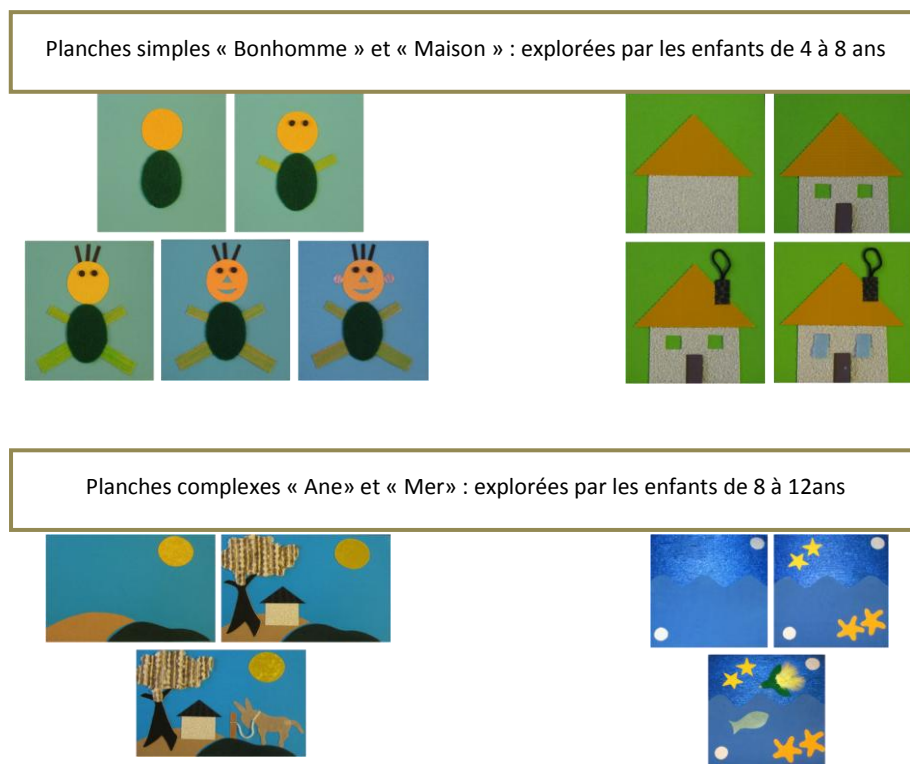


Figure 5 : Illustration des quatre séries d'images tactiles explorées par les enfants.

Des contraintes liées notamment à l'utilisation d'un logiciel qui analyse les mouvements des mains nous ont conduits à modifier les couleurs utilisées pour construire les images. Nous détaillerons davantage ce point dans le chapitre 3 (p. 119) dans lequel le logiciel d'analyse est présenté.

Les quatre séries d'images tactiles sont scindées en deux catégories en fonction de l'âge des enfants qui les explorent. Les deux premières séries dites « simples » sont destinées aux enfants les plus jeunes, ceux des deux premiers groupes d'âges (les 3-6 ans et les 6-8 ans). Les deux dernières séries dites « complexes » sont destinées aux enfants les plus âgés, ceux des deux derniers groupes d'âges (les 8-10 ans et les 10-12 ans).

Les images se composent d'un certain nombre d'éléments en relief qui se différencient par la forme (voir Tableau 4) et la texture (voir Tableau 5).

Tableau 4. Description du nombre d'éléments par image tactile et par type d'histoire.

Type	Histoire	Image tactile	Nombre et nature des éléments présents
Simple	Bonhomme	Image 1	2 : Corps + tête
		Image 2	4 : Corps + tête + bras + yeux
		Image 3	6 : Corps + tête + bras + yeux + jambes + cheveux
		Image 4	8 : Corps + tête + bras + yeux + jambes + cheveux + nez + bouche
		Image 5	9 : Corps + tête + bras + yeux + jambes + cheveux + nez + bouche + oreilles
	Maison	Image 1	2 : Toit + murs
		Image 2	4 : Toit + murs + fenêtres + porte
		Image 3	6 : Toit + murs + fenêtres + porte + cheminée + fumée
		Image 4	8 : Toit + murs + fenêtres + porte + cheminée + fumée + poignée + rideaux
Complexe	Ane	Image 1	3 : Colline 1 + Colline 2 + Soleil
		Image 2	5 : Colline 1 + Colline 2 + Soleil + maison + arbre
		Image 3	7 : Colline 1 + Colline 2 + Soleil + maison + arbre + âne + corde + piquet
	Mer	Image 1	3 : Caillou + lune + vagues
		Image 2	5 : Caillou + lune + vagues + étoiles + étoiles de mer
		Image 3	7 : Caillou + lune + vagues + étoiles + étoiles de mer + oiseau + poisson

Tableau 5. Description des textures par élément et par planche.

Histoire	Élément	Texture	Histoire	Élément	Texture
Bonhomme	Corps	<i>Feutrine</i>	Ane	Colline 1	<i>Carton</i>
	Tête	<i>Tapisserie</i>		Colline 2	<i>Feutrine</i>
	Bras – jambes	<i>Bois</i>		Soleil	<i>Velours</i>
	Yeux	<i>Mousse</i>		Tronc - piquet	<i>Bois</i>
	Cheveux	<i>Papier de verre</i>		Feuillage	<i>Moquette</i>
	Oreilles	<i>Carton ondulé</i>		Toit	<i>Tapisserie</i>
	Nez - bouche	<i>En creux</i>		Mur	<i>Crépis</i>
Maison	Toit	<i>Carton ondulé</i>	Mer	Ane	<i>Suédine</i>
	Murs	<i>Crépis</i>		Corde	<i>Laine</i>
	Porte	<i>Carton</i>		Caillou	<i>Crépis</i>
	Cheminée	<i>Tapisserie</i>		Lune	<i>Papier bulle</i>
	Fumée	<i>Laine</i>		Vagues	<i>Mousse</i>
	Fenêtre	<i>En creux</i>		Etoiles	<i>Carton</i>
	Volets	<i>Feutrine</i>		Etoiles de mer	<i>Carton ondulé</i>
				Oiseau	<i>Plumes</i>
				Poisson	<i>Tissu</i>

Chaque série raconte une histoire. Au fil de l'histoire, l'image ou la scène tactile représentée se complexifie au niveau du nombre d'éléments qui la compose. Ainsi, pour les séries « simples », c'est une image qui se complexifie de planche en planche autour du thème de la constitution d'un bonhomme pour la première série (cinq planches au total), autour du thème de la construction d'une maison pour la seconde série (quatre planches au total). Pour les séries complexes, c'est une scène qui s'étoffe de planche en planche, autour d'un petit âne pour la première série et autour du thème de la mer pour la seconde série (trois planches par série). Nous ne nous intéresserons pas aux différences de thématiques (bonhomme/maison ou âne/mer) pour chaque série d'images. Les enfants ont été confrontés aux deux thématiques, que l'on considère les images simples ou complexes. Nous avons simplement cherché à diversifier les thématiques pour obtenir un plus grand nombre de données, et pour nous abstraire un peu du contenu particulier traité par une série d'images. En conséquence, les observations recueillies dans cette expérience concernent l'exploration de 9 images tactiles pour les enfants âgés de 3 à 6 ans, et de 6 images tactiles pour les enfants plus âgés (6 à 12 ans).

Les planches sont de tailles différentes en fonction de leur appartenance à la catégorie « simple » ou « complexe ». En effet, les planches simples mesurent 15 par 15 cm, alors que les planches complexes offrent une surface d'exploration plus étendue, 29 par 21 cm pour la série « âne », 25 par 25 cm pour la série « mer », ces différences de taille étant adaptées aux mains des enfants d'âges différents, les plus âgés explorant les images les plus grandes.

Afin que les enfants voyants comme ceux malvoyants possédant un restant visuel explorent l'image tactile sans apport d'informations visuelles, l'expérimentateur place devant eux un dispositif qui leur permet d'explorer l'image sans la voir. La Figure 6 illustre le dispositif expérimental mis en place. Ce dispositif se compose d'un panneau en carton plume de 50 par 32 cm, muni d'une ouverture sur le bas de 32 par 6 cm, par laquelle l'enfant peut passer ses mains pour explorer les images qui sont aimantées à un support métallique fixé à la table. Le panneau est maintenu en position verticale par deux cales en bois. Les explorations sont filmées à l'aide d'un caméscope haute définition, fixé sur un trépied. Ce dispositif est également utilisé avec les enfants aveugles, afin que tous les groupes explorent les images dans les mêmes conditions matérielles.

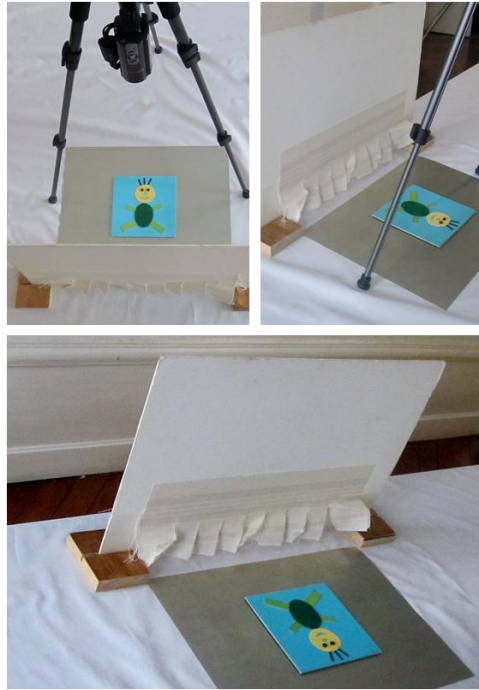


Figure 6. Dispositif expérimental

2.3. PROCEDURE

Pour étudier l'impact de la narration de l'histoire sur les explorations des images tactiles et leur compréhension, deux conditions ont été définies. Dans la première condition (condition « avec histoire »), l'expérimentateur lit l'histoire pendant que l'enfant explore l'image⁹. Dans la seconde condition (condition « sans histoire »), seul le titre de l'histoire (indication de la thématique) est communiqué à l'enfant. Chaque enfant explore les deux séries de planches correspondant à son niveau d'âge: série « maison » et « bonhomme » pour les deux premiers groupes d'âge, série « âne » et « mer » pour les deux derniers groupes d'âge. Nous avons alterné les ordres de présentation des deux thématiques à l'intérieur de chaque groupe. Par contre, chaque enfant est assigné à une condition donnée du point de vue du guidage sémantique : soit à la condition « avec histoire », soit à celle « sans histoire ».

Quelle que soit la condition, la procédure expérimentale reste similaire. L'enfant est assis devant une table sur laquelle est fixé le dispositif expérimental. L'expérimentateur est installé à ses côtés. Afin de familiariser l'enfant avec le matériel, il commence à lui montrer et faire toucher un livre illustré tactile (livre témoin sans lien avec les images tactiles expérimentales), en lui expliquant qu'il va devoir explorer de manière complète et le plus

⁹ Le texte intégral des histoires est consultable à l'annexe 3, p. 245

précisément possible des images en relief, du même type que celles apparaissant dans le livre. Il devra mentionner tout ce qu'il « reconnaît dans l'image », « tout ce qu'il en comprend, ce qu'elle représente selon lui ». Puis, l'expérimentateur place le livre témoin derrière le cache, et explique à l'enfant qu'il y a un cache et qu'il va devoir passer ses mains sous le cache pour venir explorer l'image qui est posée derrière. L'expérimentateur invite l'enfant à réaliser la tâche avec ce livre témoin ; il place ses mains sur l'image en passant sous le cache.

Lorsque l'enfant a compris le but de la tâche, la phase expérimentale débute. L'expérimentateur place la première planche derrière le cache. Dans la condition où l'histoire accompagne l'exploration haptique, il lit le texte associé à l'image puis demande à l'enfant d'explorer l'image. Pendant cette exploration, l'histoire associée est lue une seconde fois. En revanche, dans la condition où l'histoire n'accompagne pas l'exploration, l'expérimentateur se contente de donner la thématique des planches en ne mentionnant que le titre de l'histoire avant l'exploration ainsi qu'une fois pendant l'exploration (précisément : « *C'est l'histoire de quelqu'un qui dessine un bonhomme* » ; « *C'est l'histoire de quelqu'un qui construit une maison* », « *c'est l'histoire d'un petit âne sous le soleil* », « *c'est l'histoire d'une nuit sur l'océan* »). L'expérimentateur laisse l'enfant explorer librement l'image, et dire tout ce qu'il peut en comprendre. Lorsque l'enfant n'explore plus et décide qu'il a tout identifié, une nouvelle planche est placée derrière le cache et l'expérimentateur soit continue à lire l'histoire qui l'accompagne, soit répète la thématique de la série explorée, en fonction de la condition assignée à l'enfant. Ce scénario se poursuit sous ce même format jusqu'à la fin des deux séries prévues pour le groupe d'âge de l'enfant. La durée du temps d'exploration par planche n'est pas imposée. L'expérimentateur ne fournit aucun feedback à l'enfant quant à la pertinence ou non de ses identifications d'éléments de la planche, mais l'encourage positivement à explorer chaque fois de manière complète chaque image. L'intégralité de la phase expérimentale est filmée.

2.4. CODAGE DES DONNEES

Un certain nombre de variables ont été extraites des explorations filmées (explorations manuelles et descriptions verbales des enfants). Dans ce chapitre, un premier groupe de variables est analysé, celui relatif aux *types de reconnaissance* dénotés par les reports verbaux des enfants. Afin d'illustrer ces différents types de reconnaissances, nous avons pris des exemples obtenus avec les images de la série « maison » (voir Figure 7).

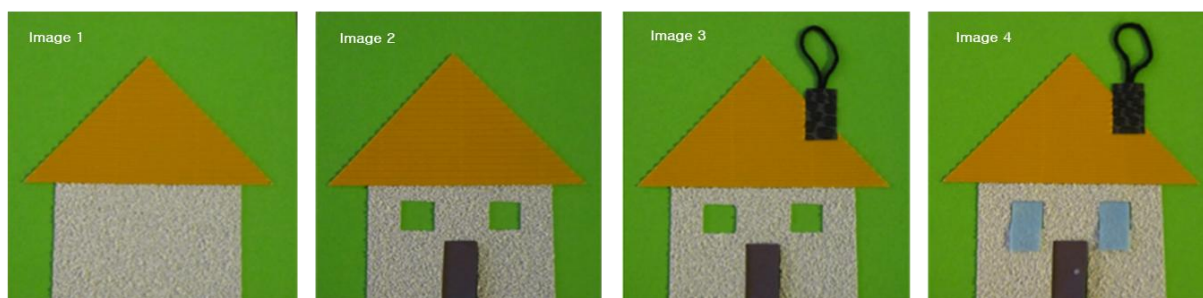


Figure 7. Images constituant la série « maison ».

Cinq types de reconnaissance ont été déterminés.

- les **Reconnaissances Correctes Sémantiques (CS)**. Une reconnaissance est cotée CS quand l'enfant, en touchant un élément de l'image tactile, désigne celui-ci correctement. Par exemple, lorsqu'il touche la cheminée dans la 3^{ème} image de la maison, il la désigne comme étant « *la cheminée* ».

- les **Reconnaissances Correctes Géométriques (CG)**. Une reconnaissance est cotée CG quand l'enfant, en touchant un élément de l'image tactile, désigne celui-ci par sa forme géométrique. Par exemple, lorsqu'il touche la cheminée dans la 3^{ème} planche de la maison, il la désigne comme étant « *un rectangle* ».

- les **Reconnaissances Correctes Texture (CT)** : Une reconnaissance est cotée CT quand l'enfant, en touchant un élément de l'image tactile, désigne celui-ci par sa texture. Par exemple, lorsqu'il touche la cheminée dans la 3^{ème} planche de la maison, il la désigne comme étant « *du papier peint* ».

- les **Reconnaissances Incorrectes (I)** : Une reconnaissance est cotée I quand l'enfant, en touchant un élément, se trompe dans sa désignation. Les reconnaissances I peuvent être décomposées en **Reconnaissances Plausibles (P)** : lorsque les désignations incorrectes restent dans le champ sémantique du thème de l'histoire, par exemple, « *une porte* » pour désigner la cheminée de la maison, et en **Reconnaissances Incorrectes Sémantiques (IS)**, lorsque les désignations incorrectes n'ont rien à voir avec la thématique de l'histoire, par exemple « *une queue* » pour désigner la fumée qui sort de la cheminée. Nous avons également codé les erreurs de désignation de forme et de texture, mais étant donné la

faible prévalence de ces types de reconnaissance, nous n'en avons pas tenu compte dans les analyses statistiques.

Chaque sujet obtient un score pour chaque type de reconnaissance. Pour obtenir ce score, nous prenons le nombre moyen d'éléments reconnus par image. Puis nous reportons la somme de ces nombres moyens au nombre total d'images constituant une série. On obtient ainsi un pourcentage du nombre moyen d'éléments reconnus pour une série d'images. Chaque sujet explorant deux séries d'images, les scores finaux de reconnaissance correspondent à la moyenne du nombre moyen d'éléments reconnus pour chacune des deux séries explorées (maison/bonhomme ou âne/mer). Pour obtenir un score de 100% de CS par exemple, le sujet doit dénommer correctement les éléments constituant l'image au fur et à mesure qu'ils apparaissent dans les planches explorées. Cette manière de calculer les scores de reconnaissances en appréhendant les réponses par planche et pas sur l'ensemble des séries, nous a permis de pondérer les scores en fonction de la difficulté amenée par le nombre croissant d'éléments au fil des planches explorées.

Un exemple de la manière dont sont calculés les scores pour chaque type de reconnaissance par sujet est présenté dans les Tableau 6 et Tableau 7. Le Tableau 6 récapitule les différents types de reconnaissances formulés par un sujet explorant la série d'images « maison ». Notons qu'un élément codé CS est considéré comme acquis pour le reste de la série. Par exemple, dans le tableau ci-dessous, l'enfant reconnaît le toit dès la première planche, le toit est alors compté en CS pour les images 2, 3 et 4. De même, pour la porte qui est reconnue correctement à l'image 2, elle est ensuite comptée comme CS pour les images 3 et 4. Cette règle de codage n'est valable que pour les CS, qui reflètent le plus haut niveau de compréhension de l'élément exploré. Le Tableau 7 détaille la manière dont sont calculés les scores des différents types de reconnaissances à partir des réponses reportées dans le Tableau 6.

Tableau 6. Exemple des différents types de reconnaissances formulées par un sujet explorant la série d'images « maison ».

	Mur	Toit	Fenêtre	Porte	Cheminée	Fumée	Rideaux	Poignée
Image 1	I (P) « porte »	CS						
Image 2	Aucune désignation	CS	I (P) « porte »	CS				
Image 3	Aucune désignation	CS	Aucune désignation	CS	I (P) « porte »	CT		
Image 4	Aucune désignation	CS	Aucune désignation	CS	Aucune désignation	Aucune désignation	CT « tissu »	CG « point »

Tableau 7. Détails du calcul des différents scores de reconnaissances pour la série d'images « maison ».

	CS	CG	CT	P	IS
Image 1 ↳ 2 éléments	$\frac{1 \text{ CS}}{2} = 0,5$	0	0	$\frac{1 \text{ P}}{2} = 0,5$	0
Image 2 ↳ 4 éléments	$\frac{2 \text{ CS}}{4} = 0,5$	0	0	$\frac{1 \text{ P}}{4} = 0,25$	0
Image 3 ↳ 6 éléments	$\frac{2 \text{ CS}}{6} = 0,33$	0	$\frac{1 \text{ CT}}{6} = 0,17$	$\frac{1 \text{ P}}{6} = 0,17$	0
Image 4 ↳ 8 éléments	$\frac{2 \text{ CS}}{8} = 0,25$	$\frac{1 \text{ CG}}{8} = 0,125$	$\frac{1 \text{ CT}}{8} = 0,125$	0	0
Calcul Score	$\frac{0,5 + 0,5 + 0,33 + 0,25}{\text{Nb d'images}(4)} = 0,40$	$\frac{0,125}{\text{Nb d'images}(4)} = 0,03$	$\frac{0,17 + 0,125}{\text{Nb d'images}(4)} = 0,07$	$\frac{0,5 + 0,25 + 0,17}{\text{Nb d'images}(4)} = 0,07$	0
Score Total	0,40	0,03	0,07	0,07	0

Dans le Tableau 7, il apparaît donc, qu'en moyenne, le sujet reconnaît 40% des éléments par image, qu'il fait référence au géométrique pour 3% des éléments présents sur la planche et à la texture pour 7% des éléments. Il commet des erreurs de reconnaissance pour 7% des éléments (uniquement des reconnaissances plausibles).

Nous allons à présent exposer les résultats obtenus dans le cadre de ce premier volet de notre expérience princeps.

3. RESULTATS

Pour les *enfants déficients visuels*, des analyses de variance ont été réalisées sur les pourcentages de reconnaissance recueillis pour chaque enfant avec l'âge (4 groupes), le guidage sémantique (2 conditions), et le statut visuel (2 groupes : aveugles versus malvoyants) comme facteurs inter-sujets. Lorsqu'un effet du statut visuel apparaît, montrant une différence entre aveugles et malvoyants, une ANOVA avec le facteur OMS (3 catégories) à la place du facteur Statut Visuel a été conduite. Un plan similaire d'ANOVA (Age et Guidage sémantique comme facteurs inter-sujets) a été utilisé pour les *enfants voyants*. Quand nécessaire, des tests t de Student ont été réalisés pour comparer les performances des enfants voyants avec ceux aveugles ou malvoyants. Par ailleurs, une analyse plus fine de ces reconnaissances a été effectuée pour le groupe des déficients visuels (aveugles et malvoyants) en introduisant l'effet de l'expertise tactile (3 niveaux).

Nous proposons de rendre compte de ces résultats en examinant un à un les effets des facteurs d'intérêt pour notre expérience, à savoir le guidage sémantique, puis le statut visuel,

puis l'âge et enfin l'expertise tactile. Les effets d'interaction potentiels entre variables ont été introduits progressivement, à chaque nouvelle variable et relativement à celle(s) traitée(s) juste auparavant.

3.1. RECONNAISSANCES ET GUIDAGE SEMANTIQUE

Rappelons que nous avons fait l'hypothèse qu'un guidage sémantique spécifique des explorations favorisera les reconnaissances sémantiques correctes, bien plus qu'une orientation sémantique globale donnée par le thème de l'image.

En ce qui concerne les *enfants déficients visuels*, l'ANOVA révèle un effet du guidage sémantique sur certains types de reconnaissance. La Figure 8 illustre ces résultats.

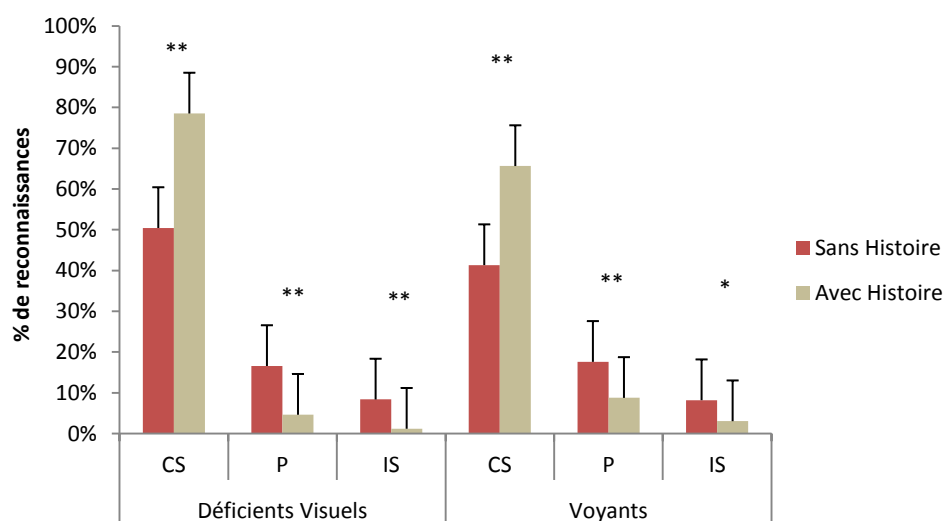


Figure 8. Scores de reconnaissance Correctes Sémantiques (CS), Plausibles (P) et Incorrectes Sémantiques (IS) en fonction du guidage sémantique chez les enfants déficients visuels et chez les enfants voyants (pourcentages et erreurs-types).

Conformément à notre attente, lorsque les enfants déficients visuels sont placés en condition « histoire » et que leurs explorations sont donc guidées sémantiquement, le pourcentage de reconnaissances CS augmente de manière significative, $F(1,62) = 13.87, p < .001$, alors que le pourcentage de reconnaissances incorrectes (plausibles et incorrectes sémantiques) diminue de manière significative (reconnaissances P : $F(1,62) = 19.63, p < .0001$; reconnaissances IS : $F(1,62) = 11.85, p < .001$).

Pour le groupe d'*enfants voyants*, l'effet du guidage sémantique est similaire : le pourcentage de reconnaissances CS augmente significativement en présence de l'histoire, $F(1,68) = 12.51, p < .001$, alors que le pourcentage de reconnaissances incorrectes (plausibles

et incorrectes sémantiques) tend à diminuer (reconnaisances P : $F(1,68) = 8.66, p < .01$; reconnaisances IS : $F(1,68) = 4.34, p < .05$).

On notera que les pourcentages de reconnaissances correctes sémantiques sont répartis entre 50% et 80%. Même en l'absence du guidage sémantiques, ces scores, qui traduisent le plus haut niveau de compréhension tactile, sont plutôt bons et cela aussi bien chez les enfants déficients visuels que chez les enfants voyants. On observe de plus que les pourcentages d'erreurs (P et IS) sont faibles pour les deux groupes d'enfants, entre 17% et 20%. Aucune différence significative n'apparaît entre ces deux groupes quelque soit le type de reconnaissances : CS, P ou IS (T de Student $p > .05$).

3.2. RECONNAISSANCES ET STATUT VISUEL

Poursuivons cette analyse avec l'investigation du rôle du statut visuel. Selon la littérature, nous nous attendons à ce que les reconnaissances sémantiques soient meilleures chez les enfants malvoyants comparativement aux enfants aveugles qui, eux-mêmes, seraient plus performants que les enfants voyants. De plus, nous émettons l'hypothèse que les enfants malvoyants auront tendance à faire plus de reconnaissances géométriques (sensibilité à la forme, du fait de leur potentiel visuel restant) alors que les enfants non-voyants seront plus centrés sur des reconnaissances de type texture (sensibilité à la texture, propriété de l'objet la mieux traitée par le toucher).

La première série de résultats est illustrée dans la Figure 9. Concernant les *reconnaisances sémantiques* (CS) chez les enfants déficients visuels, l'ANOVA ne met pas en évidence un score significativement meilleur chez les malvoyants comparativement aux non-voyants, $F < 1$. Quel que soit le degré du handicap visuel, le pourcentage de reconnaissances CS est relativement élevé pour les deux sous-groupes : en moyenne 71 % pour les enfants malvoyants et 60% pour les enfants aveugles.

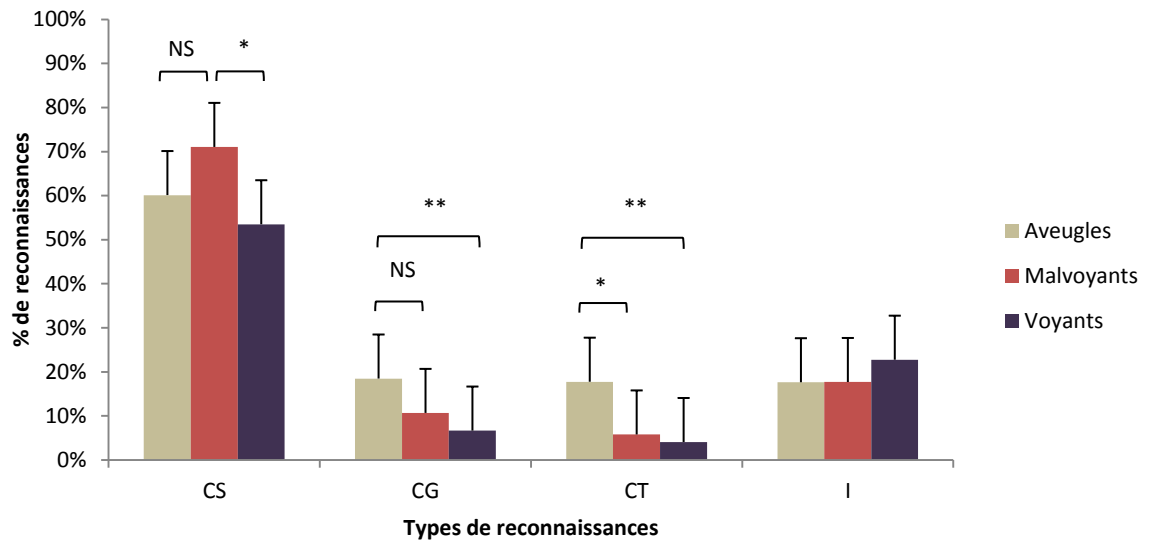


Figure 9. Scores de reconnaissances Correctes Sémantiques (CS), Correctes Géométrique (CG), Correctes Texture (CT) et Incorrectes (I) en fonction du statut visuel (pourcentages et erreurs-types).

Le groupe d'enfants voyants obtient, lui, un score moyen de 53.5% pour les CS. Le test t de Student révèle une différence de performance significative entre enfants voyants et enfants malvoyants, en faveur de ces derniers, $t(98) = 2.47, p < .05$.

Les observations relatives aux *reconnaissances géométriques* (CG) ne vont pas dans le sens de notre hypothèse. Si il apparaît sur le Figure 9 que les enfants non-voyants ont tendance à faire plus référence aux reconnaissances CG comparativement aux enfants malvoyants ($M = 18.5\%$ contre $M = 10.7\%$), cette différence se révèle non significative, $F(1, 62) = 2.33, p = .13$. Quant aux enfants voyants, ils produisent un score de reconnaissance CG de 6.6% et se distinguent significativement des enfants aveugles, ces derniers en produisant 18.5%, $t(112) = 3.6, p < .01$.

Conformément à notre hypothèse, les enfants aveugles sont plus centrés sur les références à la *texture* que les enfants malvoyants (respectivement, $M = 17.75\%$ contre $M = 5.8\%$), $F(1,62) = 5.85, p = .01$. Ce résultat positif nous incite à explorer plus finement l'effet du statut visuel en différenciant les enfants handicapés visuels selon leur catégorie OMS. La Figure 10 décrit ces résultats.

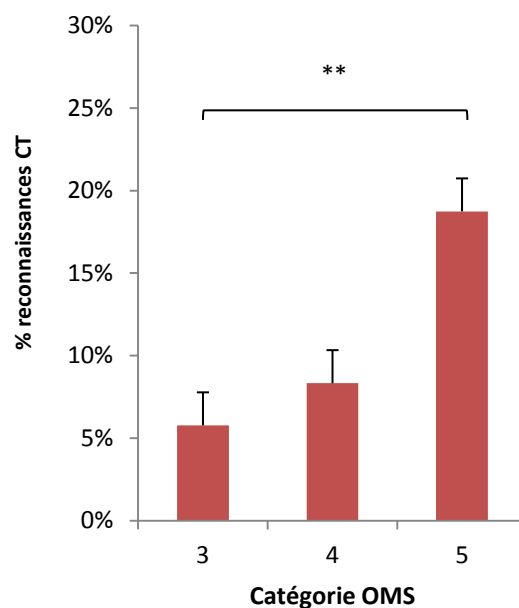


Figure 10. Scores de reconnaissances correctes texture (CT) en fonction de l'appartenance à la catégorie OMS (pourcentages et erreurs-types).

Lorsque la catégorie OMS est ainsi prise en compte, ce sont les enfants appartenant à la catégorie 5 (pas de perception de la lumière) qui font le plus référence à la texture ($M = 18.7\%$), comparativement aux enfants appartenant à la catégorie 3 ($M = 5.8\%$), alors que les enfants de la catégorie 4 se situent à un niveau intermédiaire ($M = 8.3\%$), $F(1,60) = 7.72$, $p < .01$. Un test post-hoc (HSD de Tukey) met en évidence une différence significative entre les catégories 3 et 5, $p = .02$. Notons que le score de CT des enfants voyants est de 4 %, c'est-à-dire bien inférieur à celui des enfants aveugles ($M = 17.75\%$), $t(112) = 4.52$, $p < .01$, mais ne se distingue pas de celui des enfants malvoyants ($M = 5.8\%$), $t < 1$.

Enfin, les scores de reconnaissances incorrectes varient peu en fonction du statut visuel ($F < 1$) : les enfants déficients visuels font des erreurs de reconnaissance pour en moyenne 18% des éléments présents dans une planche et les enfants voyants 23%. Ces scores restent faibles et ne diffèrent pas d'un point de vue statistique (T de Student $p > .05$)

Par ailleurs, une interaction entre le statut visuel et le guidage sémantique, illustrée dans la Figure 11, apparaît significative pour les reconnaissances géométriques, $F(1,62) = 5.77$, $p = .01$.

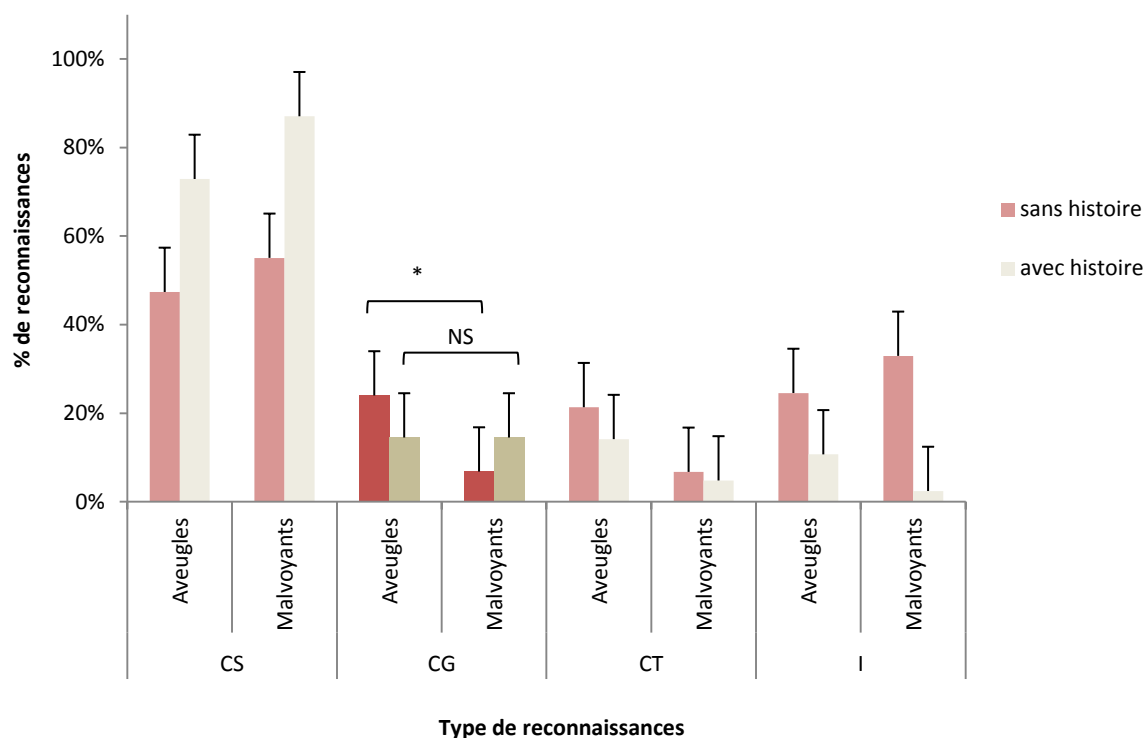


Figure 11. Scores de reconnaissances Correctes Sémantiques (CS), Correctes Géométriques (CG), Correctes Texture (CT) et Incorrectes (I) en fonction du statut visuel et du guidage sémantique (pourcentages et erreurs-types).

Ainsi, les enfants aveugles ont un score de reconnaissances géométriques significativement plus élevé que leurs pairs malvoyants lorsque leurs explorations ne sont pas guidées par l'histoire, respectivement 24% contre 8% (HSD de Tukey, $p < .05$). En revanche, en présence de l'histoire, les différences en termes de pourcentage de reconnaissances géométriques entre les deux groupes d'enfants disparaissent, avec des scores de CG atteignant les alentours de 14% en moyenne dans les deux groupes.

On retrouve cette interaction lorsque le facteur catégorie OMS est considéré, $F(1,60) = 6.10$, $p = .01$. Elle est illustrée par la Figure 12.

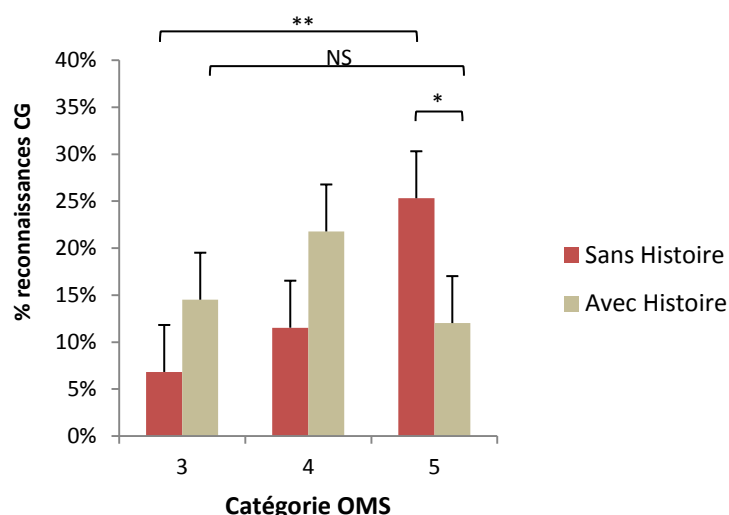


Figure 12. Scores de reconnaissances Correctes Géométriques (CG) en fonction de la catégorie OMS et du guidage sémantique (pourcentages et erreurs-types).

Un test post-hoc (LSD de Fisher), confirme que lorsque l'histoire ne guide pas les explorations, les enfants totalement aveugles (catégorie 5) donnent plus de reconnaissances de type géométrique que ceux de la catégorie 3, $p < .01$. Par contre, lorsque l'histoire guide les explorations, les différences en fonction de l'appartenance à la catégorie OMS disparaissent, $p > .20$. Ceci étant, si l'on ne considère que les enfants relevant de la catégorie 5, la propension à donner des réponses géométriques diminue de manière significative lorsqu'ils bénéficient du guidage sémantique, $p < .05$.

3.3. RECONNAISSANCES ET AGE

Intéressons-nous à présent à l'effet de l'âge sur les reconnaissances des enfants. Les sujets sont répartis en quatre groupes d'âges : les 3-6 ans, les 6-8 ans, les 8-10 ans et les 10-12 ans (cf. Tableau 2). Nous supposons que les enfants les plus jeunes vont avoir un raisonnement plus perceptif et auront tendance à se référer davantage à la texture comparativement aux enfants plus âgés, et qu'en grandissant, les reconnaissances vont évoluer vers des aspects de plus en plus conceptuels, s'axant d'abord sur les dimensions géométriques puis sémantiques. Des premières analyses ont montré qu'il était pertinent de grouper les enfants de moins de 8 ans (groupes 1 et 2, $M = 5 ; 8$) et les enfants de plus de 8 ans (groupes 3 et 4, $M = 9 ; 11$) afin de mieux faire ressortir les changements avec l'âge. Nous proposons de présenter nos résultats directement en fonction de cette dichotomie.

L'analyse des scores de reconnaissances obtenus par *les enfants déficients visuels* va en partie dans le sens de la tendance développementale attendue. Il apparaît, comme l'illustre

la Figure 13, que les enfants âgés de moins de 8 ans ont tendance à faire plus de reconnaissances de type texture comparativement aux enfants âgés de plus de 8 ans, $F(1,62) = 3.35$, $p = .07$. La Figure 13 montre également le même effet de l'âge sur la prépondérance à donner des reconnaissances de types géométriques. Comme pour les reconnaissances texture, ce sont les enfants de moins de 8 ans qui donnent le plus de reconnaissances géométriques comparativement aux enfants âgés de plus de 8 ans, $F(1,62) = 4.37$, $p < .05$. Enfin, les enfants plus âgés ont tendance à produire plus de réponses correctes sémantiques que les enfants plus jeunes, $F(1,62) = 3.40$, $p = .06$. L'analyse par groupe d'âge entre 3 et 8 ans n'a pas révélé de passage de reconnaissances d'abord basées sur la texture puis sur les dimensions géométriques, comme nous le supposions.

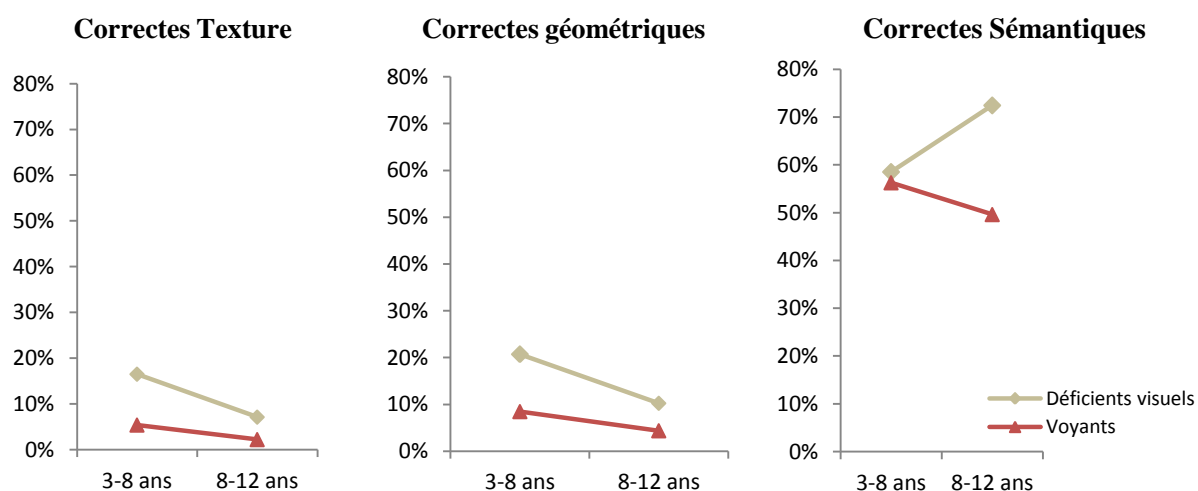


Figure 13. Scores de reconnaissances Correctes Texture (CT), Correctes Géométriques (CG) et Correctes Sémantiques (CS), en fonction de l'âge chez les enfants déficients visuels (aveugles + malvoyants) et les enfants voyants (pourcentages).

Cette tendance développementale ne se retrouve pas dans le *groupe des enfants voyants*. Comme le montre la Figure 13, les pourcentages moyens de reconnaissances texture ne varient pas en fonction de l'âge, $F(1,68) = 1.94$, $p = .18$, et ils restent très faibles (moins de 6%), tout comme les pourcentages moyens de reconnaissances géométriques, $F(1,68) = 2.15$, $p = .15$, qui oscillent entre 8 % et 4%. Enfin, la propension des enfants de plus de 8 ans à produire un plus grand nombre de reconnaissances correctes sémantiques que ceux âgés de moins de 8 ans ne se retrouve pas dans le groupe d'enfants voyants, $F(1,68) < 1$. Les moins de 8 ans obtiennent un score moyen de reconnaissances correctes sémantiques de 56.3% et ceux de plus de 8 ans, de 49.6%.

3.4. RECONNAISSANCES ET EXPERTISE HAPTIQUE

Nous allons maintenant aborder l'effet de la pratique haptique sur les différents types de reconnaissance. Rappelons que les sujets sont répartis en trois groupes : débutants ($n=16$), intermédiaires ($n=24$) et experts ($n=30$) (cf. Tableau 2). Conformément à la littérature, nous nous attendons à ce que le pourcentage de reconnaissances sémantiques correctes augmente avec l'intensification des pratiques tactiles de l'enfant. De plus, nous supposons qu'avec l'expertise haptique, les performances des enfants aveugles précoces en terme de reconnaissances sémantiques vont augmenter jusqu'à atteindre le niveau des enfants malvoyants.

Nos résultats vont dans le sens de notre hypothèse. En effet, comme l'illustre la Figure 14, le pourcentage de reconnaissances sémantiques correctes s'améliore avec l'augmentation du niveau d'expertise haptique, $F(2,58) = 10.52, p < .001$.

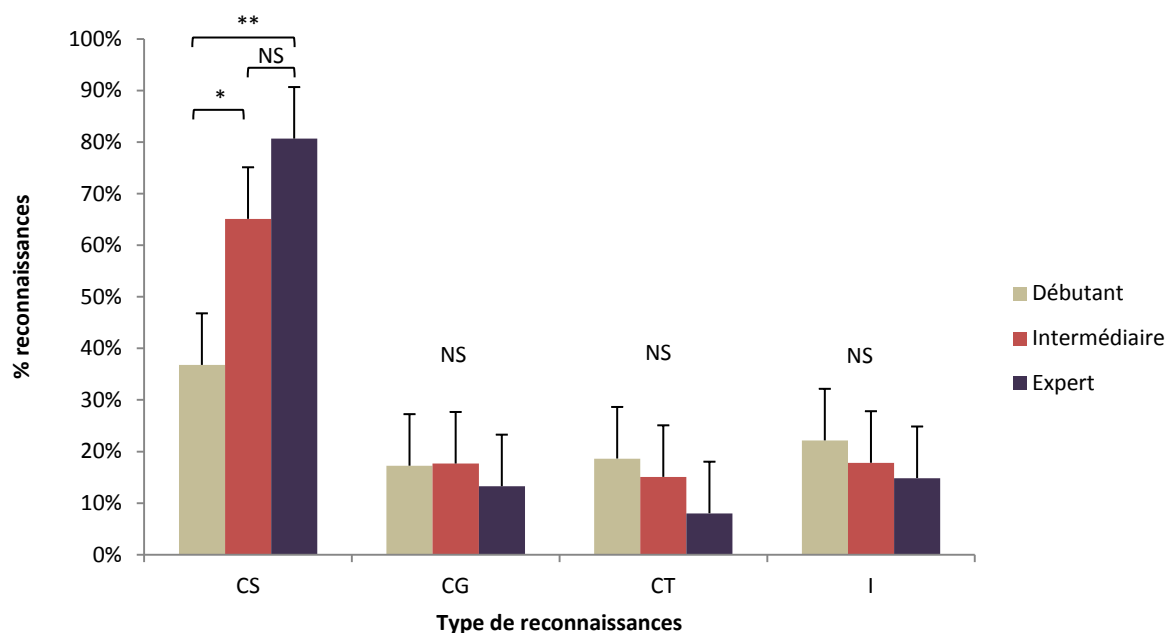


Figure 14. Scores de reconnaissances Correctes Sémantiques (CS), Correctes Géométriques (CG), Correctes Texture (CT) et Incorrectes (I) en fonction de l'expertise haptique (pourcentages et erreurs-types).

Des comparaisons a posteriori (HSD de Tukey) indiquent que le groupe d'enfants débutants produit significativement moins de reconnaissances sémantiques correctes que les enfants intermédiaires, $p < .05$, et les enfants expérimentés, $p < .001$ (respectivement $M = 36.8\%$ contre $M = 65.1\%$ et $M = 80.7\%$). En revanche, aucune différence significative n'a été mise

en évidence entre les CS données par les enfants des groupes intermédiaires et expérimentés, $p > .1$. De plus, bien que l'on observe sur la Figure 14 que les enfants présentant le degré d'expertise le plus élevé font moins référence au géométrique et à la texture dans leurs reconnaissances et produisent moins d'erreurs. Aucun effet du degré d'expertise haptique concernant les CG, CT et I n'a été révélé par l'analyse de variance, $F < 1$.

Lorsque l'on s'intéresse à l'impact de l'expertise haptique en fonction du statut visuel, illustré dans la Figure 15, on observe que les performances des enfants aveugles sont celles qui profitent le plus de l'augmentation du degré d'expertise.

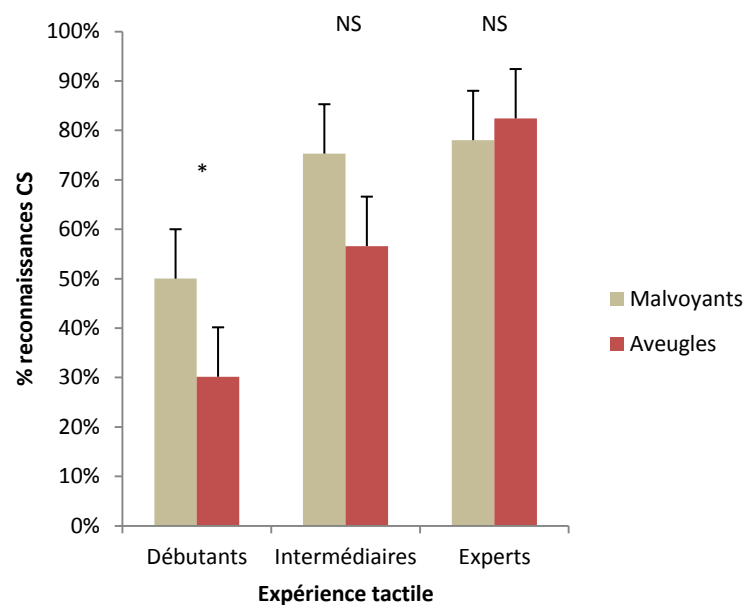


Figure 15. Scores de reconnaissances correctes sémantiques en fonction de l'expertise haptique et du statut visuel (pourcentages et erreurs-types).

En effet, plus le degré d'expertise haptique augmente, plus les performances des enfants aveugles se rapprochent des performances des enfants malvoyants $F(2,58) = 2.92$ $p = .06$. Des comparaisons a posteriori (HSD de Fisher), montrent que les enfants aveugles débutants donnent significativement moins de reconnaissances sémantiques correctes que les enfants malvoyants du même degré d'expertise ($p = .01$), mais qu'avec l'augmentation du niveau d'expertise, cette différence de performance s'estompe (intermédiaires : $p = .13$, experts, $p = .68$).

4. DISCUSSION

Ce premier chapitre traite des processus de reconnaissance des objets représentés sur les images tactiles en fonction du guidage sémantique et des spécificités des enfants qui explorent (statut visuel, âge, expertise tactile).

Lorsque l'on porte un regard global sur les reconnaissances fournies par les enfants qui ont participé à notre étude, nous observons que les identifications sémantiques sont plutôt d'un bon niveau. Dans la condition où seul le thème de l'histoire est fourni, les enfants déficients visuels reconnaissent en moyenne 50% des éléments de la série d'images tactiles, et les enfants voyants en reconnaissent en moyenne 41%. Ces taux de reconnaissances sont comparables à ceux obtenus dans une étude récente de Picard (Picard et al., 2014) où 13 enfants déficients visuels (aveugles et malvoyants) et 13 enfants voyants identifient une série de 8 images en relief représentant des objets usuels à hauteur de 52% pour les premiers et 37.5% pour les seconds.

Conformément à nos attentes, la lecture de l'histoire a un effet bénéfique sur la compréhension des images tactiles. Chez les enfants déficients visuels comme chez les enfants voyants, lorsque l'histoire accompagne les explorations, les reconnaissances sémantiques augmentent de manière significative (78.5% pour les enfants déficients visuels et 65.5% pour les enfants voyants) et les erreurs diminuent. L'histoire donne la possibilité aux enfants de formuler des hypothèses sur l'identité des objets bidimensionnels qu'ils sont en train de toucher. Cela leur permet de mieux appréhender la scène tactile et joue un rôle d'activateur de leurs représentations stockées en mémoire qui sont plus facilement accessibles pour la reconnaissance. La lecture de l'histoire peut être assimilée à un booster de processus top-down qui vont faciliter le traitement et l'identification des images tactiles.

Grâce à leur expérience perceptive à la fois visuelle et haptique, nous nous attendions à ce que les enfants malvoyants aient de meilleures performances de reconnaissances sémantiques que les enfants aveugles et voyants. Cette hypothèse n'est validée qu'à moitié. En effet, si aucune différence significative n'est observée entre enfants malvoyants et enfants aveugles, une supériorité des enfants malvoyants sur les enfants voyants en termes de reconnaissance sémantique est mise en évidence. Ces observations rejoignent en partie celles faites dans l'étude de Picard (Picard et al., 2014), où aucune différence n'est observée entre les performances de reconnaissance des enfants malvoyants et aveugles, mais où les enfants déficients visuels (aveugles et malvoyants confondus) reconnaissent mieux que les enfants voyants.

De plus, contrairement à ce que nous avons imaginé, les enfants malvoyants ne sont pas plus sensibles à la dimension géométrique dans leurs reconnaissances que les autres enfants. En revanche, les enfants aveugles, et particulièrement les enfants aveugles complets (catégorie 5 des l'OMS), font plus référence à la géométrie et à la texture dans les réponses qu'ils donnent. Lorsque l'histoire accompagne leurs explorations, la propension à fournir des reconnaissances de type géométrique diminue, effaçant les différences avec les enfants malvoyants et voyants. Par contre, l'histoire n'a pas d'effet sur la tendance des enfants aveugles complets à se référer à la texture. Nous expliquons ces résultats en termes de degré de conceptualisation de la reconnaissance donnée. Il semble en effet que les enfants aveugles complets, lorsqu'ils n'accèdent pas à la dimension sémantique de l'objet à reconnaître sur l'image, se focalisent sur des dimensions moins conceptuelles, plus perceptives : la forme géométrique et la texture. La forme géométrique présente un degré de conceptualisation plus élevé que la texture qui est la dimension haptique par excellence (Pick, 1974, Freides, 1974 ; Hatwell, 1986 ; Klatsky, Lederman, & Reed, 1987). Lorsque les enfants aveugles complets donnent une reconnaissance géométrique, ils accèdent donc à un niveau de conceptualisation intermédiaire. Grâce à l'aide sémantique amenée par l'histoire, ils passent de ce niveau intermédiaire au niveau supérieur : la reconnaissance sémantique, d'où la diminution des reconnaissances géométriques et l'augmentation des reconnaissances sémantiques en présence de l'histoire. En revanche, lorsqu'ils parviennent à une reconnaissance de type texture, le degré de conceptualisation reste trop élémentaire pour être influencé par le guidage sémantique et accéder à un degré de conceptualisation plus élevé.

Cet effet du degré de conceptualisation au niveau des reconnaissances se retrouve globalement lorsque l'on prend en compte l'âge des enfants, mais uniquement chez les enfants déficients visuels. Nous avons fait l'hypothèse que les enfants les plus jeunes utiliseraient davantage un traitement perceptif, avec une tendance à se référer plus à la texture comparativement aux enfants plus âgés, et qu'en grandissant, les reconnaissances évolueraient vers des aspects de plus en plus conceptuels, s'axant d'abord sur l'aspect géométrique de l'objet bidimensionnel, puis sur l'aspect sémantique. Les résultats que nous avons obtenus ne montrent pas une tendance développementale aussi nette. Les enfants déficients visuels les plus jeunes sont effectivement plus centrés sur des identifications de type texture, et cette tendance diminue avec l'âge. Mais ce même schéma se reproduit avec les reconnaissances « géométriques » qui diminuent aussi vite que les reconnaissances « texture » avec l'âge des enfants. Les plus jeunes semblent donc plus influencés par la dimension perceptive (texture et forme géométrique) du pattern bidimensionnel, alors que les enfants plus grands sont fixés sur

la dimension sémantique. En effet, les enfants âgés de plus de 8 ans donnent un pourcentage plus important de reconnaissances sémantiques que leurs camarades plus jeunes. Les différences de performance concernant les reconnaissances sémantiques en faveur des plus âgés sont en cohérence avec les résultats obtenus par Picard (Picard et al., 2013) dans son étude développementale sur l'identification de dessins en relief par des sujets voyants (enfants, adolescents et adultes), qui montre que les performances d'identifications d'images tactiles d'objets usuels s'améliorent avec l'âge. Ce qui est plus surprenant, c'est qu'on ne retrouve pas cette tendance développementale chez les enfants voyants. Ces enfants font en effet très peu référence aux dimensions perceptives de l'image tactile (texture et forme géométrique), se centrant dès le plus jeune âge sur la dimension sémantique, sans qu'aucune variation avec l'âge ne soit observée. Mais rappelons de suite que cette absence d'effet de l'âge sur les performances d'identifications sémantiques, peu intuitive, peut être induite par le fait que nous avons adapté la complexité des planches à l'âge des enfants, les plus jeunes enfants explorant des planches plus simples que les enfants plus âgés. Ce choix de présenter à l'enfant un matériel adapté à son âge, dans un souci écologique, a surement contribué à réduire, voire annuler, l'effet d'âge chez les enfants voyants tout du moins.

Ces effets différents de l'âge en fonction de la présence ou de l'absence d'un handicap visuel peuvent toutefois s'expliquer par le fait qu'enfants voyants et enfants déficients visuels n'ont pas un développement des capacités de conceptualisation et d'abstraction superposables, du fait de la spécificité de leur univers perceptif. Les enfants déficients visuels construisent des représentations fortement influencées par la modalité haptique. Avec la maturation de leurs capacités de conceptualisation et d'abstraction, ils vont passer à un traitement de l'image tactile de plus en plus complexe. D'abord centrés sur le perceptif (la texture et forme), ils vont avec l'âge se focaliser sur des dimensions de plus en plus conceptuelles : le sémantique. Les enfants voyants n'utilisent pas la sensibilité haptique à des fins similaires dans la construction du monde. Leur univers perceptif est avant tout dominé par le visuel, et la contribution de l'haptique dans leurs représentations perceptives est réduite. Mis dans une situation non habituelle de découverte du monde au travers de l'haptique, on constate qu'ils cherchent à associer, dès le plus jeune âge, leurs explorations haptiques à des représentations sémantiques. On observe ici une illustration des deux modèles de traitement de l'information haptique proposés par Klatzky et Lederman (1987). Il semble en effet que les enfants voyants traitent l'information haptique par médiatisation visuelle sans s'attacher aux propriétés de l'image tactile, alors que les enfants déficients visuels utilisent ce matériau

perceptif haptique afin d'accéder directement à la représentation haptique de l'objet bidimensionnel.

Enfin, le degré d'expertise haptique a un effet positif sur les identifications. Conformément à nos postulats, les reconnaissances sémantiques sont meilleures chez les enfants présentant un degré d'expérience haptique intermédiaire et expert, comparativement aux enfants débutants. Il est particulièrement intéressant de noter que l'expertise haptique permet aux enfants aveugles de compenser leurs difficultés de reconnaissances. En effet, chez les débutants, les enfants malvoyants sont meilleurs que les enfants aveugles, et avec l'expertise, les enfants aveugles arrivent au même niveau que leurs pairs malvoyants. Heller (1989a) montre que les adultes aveugles tardifs sont avantagés dans une tâche d'identification d'images tactiles. L'auteur explique cet avantage par la supériorité des aptitudes tactiles combinées à l'expérience visuelle des images. Les enfants malvoyants profitent également de cette double expérience. Lorsqu'ils sont débutants du point de vue de l'expertise haptique, ils surpassent donc les enfants aveugles qui bénéficient uniquement d'informations haptiques. En multipliant les expériences haptiques, les enfants déficients visuels gagnent en pratique haptique mais également en connaissances : ils deviennent experts. Comme l'a montré Dulin (Dulin & Hatwell, 2006 ; Dulin, 2007), cette expertise haptique a un impact plus fort que l'expérience visuelle, car grâce à elle, les enfants aveugles atteignent le même niveau de performance de reconnaissances que les enfants malvoyants.

Nous allons maintenant aborder plus spécifiquement la manière dont les enfants explorent les images afin d'identifier les liens qui unissent ces mouvements d'exploration et les différents facteurs relatifs aux sujets, l'objectif étant de déterminer les comportements haptiques les plus adéquats à une bonne compréhension des images tactiles.

Le second chapitre de cette thèse est consacré à l'étude des mouvements d'exploration haptique déployés par les enfants qui découvrent une image tactile. Si le premier chapitre était plus axé sur le côté « cognition » de la perception haptique, nous allons à présent nous concentrer sur le versant « action ». Commençons par définir plus précisément à quoi correspondent les mouvements d'exploration haptique. Nous ferons ensuite le point sur les travaux déjà menés concernant l'influence de différents facteurs sur les mouvements d'exploration d'images en relief, afin d'argumenter les hypothèses qui ont guidé notre travail.

1. INTRODUCTION

Le système perceptif haptique est caractérisé par un lien fort entre perception et action. L'action implique le mouvement. Pour Gibson (1962, 1966), le mouvement est vecteur d'une perception de qualité. Cela est d'autant plus vrai dans le cas de la perception haptique, car toucher un objet activement permet d'une part d'accéder à un plus grand nombre d'informations (le mouvement compensant l'exiguïté du champ perceptif tactile) et d'autre part, de dépasser la simple sensation procurée par un contact passif pour accéder à une information plus pertinente, afin d'identifier l'objet touché.

Le mouvement est effectivement fondamental pour reconnaître grâce au toucher, et la qualité de la perception tactile dont va dépendre la reconnaissance de l'objet exploré résulte en partie de la qualité du mouvement des mains sur l'objet. Ces mouvements sont étudiés depuis les années 50. Dans son ouvrage pionnier « The art of the blind », Revesz (1950) rapporte que Heller est le premier à souligner l'importance des mouvements tactiles pour percevoir les formes. C'est d'ailleurs lui qui pour la première fois introduit la distinction entre *toucher passif*, caractérisé par une main immobile, et *toucher actif* ou *toucher haptique* induisant le mouvement de la main. Revesz souligne de plus l'importance de la dimension temporelle du touché haptique pour accéder à la reconnaissance d'un objet. Il fait la différence entre un *touché simultané*, caractérisé par un mouvement unique pour appréhender les propriétés de l'objet et un *toucher séquentiel*, faisant appel à un ensemble de mouvements coordonnés pour appréhender ces mêmes propriétés. L'exploration séquentielle qui se traduit par une richesse des mouvements mis en œuvre permet une perception plus globale, plus précise et plus respectueuse de l'unité de l'objet.

Suite aux travaux de Revesz, des auteurs objectivent ces mouvements d'exploration haptique en démontrant qu'ils sont organisés - les doigts ne bougent pas de manière aléatoire lorsqu'ils explorent un objet (Lomov, 1966)-, et spécifiques - certains mouvements sont plus performants pour juger de certaines propriétés de l'objet (Davidson, 1972). Dans les années 80, des travaux sur la perception d'objet en trois dimensions, dirigés par Lederman et Klatzky (Klatzky, Lederman, & Metzger, 1985 ; Lederman & Klatzky, 1987) posent des jalons fondamentaux dans l'étude des mouvements exploratoires et du toucher haptique.

1.1. LES PROCEDURES D'EXPLORATION : DES MOUVEMENTS SPECIFIQUES

Davidson (1972) est un des premiers auteurs à mettre en évidence la spécificité des mouvements d'exploration haptique au jugement d'une dimension de l'objet. Il travaille sur l'estimation haptique de la courbure d'un objet en trois dimensions (une bande de bois). Il définit cinq stratégies d'exploration utilisées pour estimer la courbure (voir Figure 16) : 1) *l'agrippement* qui consiste à enrouler trois ou quatre doigts sur la partie externe de l'objet, 2) *le pincement* qui consiste à pincer la partie verticale de l'objet entre deux doigts ; 3) *le balayage* qui correspond au déplacement du doigt de gauche à droite et inversement , 4) *le traçage* qui consiste à bouger le doigt sur la face interne du stimulus ; 5) *l'empan* où les doigts sont maintenus écartés pour estimer la longueur.

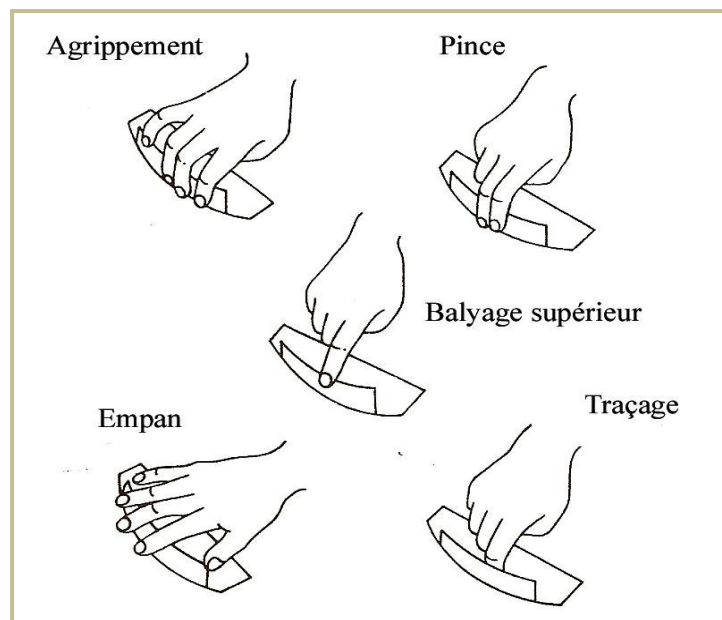








Figure 16. Stratégies d'exploration haptique utilisées pour estimer la courbure (d'après Davidson, 1972)

Quelques années plus tard, Lederman et Klatzky (1987) proposent à leur tour une taxonomie des mouvements d'exploration haptique. Dans la lignée de Revesz et de Gibson,

Lederman et Klatzky (1987, 1993) sont persuadées que la fonction instrumentale de la main améliore la fonction perceptive, et que mouvements et inputs sensoriels sont interdépendants. En superposant ses fonctions sensorielles et ses capacités motrices, la main peut atteindre un haut niveau de performance perceptive et cognitive qui serait difficilement atteint d'une autre manière. A l'issue de leurs observations, Lederman et Klatzky (1987, 1993) confirment que les mouvements effectués par les mains pour explorer des objets ne sont pas aléatoires et qu'ils sont différents en fonction du type d'information recherché. Ces mouvements stéréotypés des mains qu'ils appellent « **Procédures Exploratoires** » (**PE**), se caractérisent donc par la quantité d'information qu'ils peuvent apporter et leur spécificité à une ou plusieurs propriétés de l'objet exploré. Lederman et Klatzky identifient six principales PE. 1) le *frottement latéral* qui consiste en un frottement rapide des doigts, un va-et-vient, sur une partie homogène de la surface interne de l'objet, sans aller sur les bords. 2) la *pression* qui consiste à appliquer une force sur une partie de l'objet. 3) le *contact statique* où la main reste passivement en contact de l'objet. 4) le *soulèvement* où l'objet est entièrement pris dans la main et il est soulevé à l'aide du bras. 5) l'*enveloppement* où la main entoure simultanément un maximum des parties de l'objet. Reed, Lederman et Klatzky (1990) différencient deux types d'enveloppement : l'enveloppement *global* qui consiste à recouvrir la surface de l'objet avec la paume de la main, les doigts étant positionnés sur les bords de l'objet et l'enveloppement *partiel* où les doigts sont enroulés autour des bords de l'objet. 6) le *suivi de contour* qui consiste à un déplacement des doigts sur les contours de l'objet. Le Tableau 8 illustre ces différentes PE et expose les dimensions qui les caractérisent.

Une des particularités propre aux PE est qu'elles sont basées sur des caractéristiques invariantes qui peuvent être regroupées en quatre catégories : **1) l'état du mouvement** lors de l'exploration : *statique* ou *dynamique* ; **2) la direction de la force** appliquée par le sujet sur la surface de l'objet : *gravitationnelle* (force perpendiculaire au plan horizontal, par exemple un mouvement de pression) ou *tangentielle* (force parallèle au plan horizontal, par exemple un mouvement de va-et-vient de gauche à droite de l'objet ou inversement) ; **3) la zone de l'objet en contact avec le sujet** : *contours* et/ou *surface* de l'objet ; **4) la contrainte de l'espace de travail** : contrainte de positionnement de l'objet ou du sujet lors de l'exploration.

Tableau 8. Illustration des Procédures d'Exploration haptiques (PE), les propriétés qui leurs sont spécifiques et les caractéristiques invariantes qui les définissent. (Illustrations issues de Lederman & Klatzky, 1987)

		Propriétés traitées		Caractéristiques invariantes des PE			
		Optimale	Suffisante	Etat du mouvement	Direction de la force	Zone explorée	Contrainte d'action
Frottement latéral		Texture	Dureté Température	dynamique	tangentielle	surface	non
Pression		Dureté	Texture Température	dynamique	normale	surface	non
Contact statique		Température	Texture Volume Forme globale	statique	normale	surface	non
Soulèvement		Poids	Dureté Température Volume Forme globale	statique	normale	surface et contours	oui
Enveloppement		Forme globale	Texture Dureté Température Poids Volume	statique	normale	surface et contours	non
Suivi de contour		Forme exacte	Texture Dureté Température Poids Forme Globale volume	dynamique	tangentielle	contours	non

De plus, la principale caractéristique des PE est qu'elles sont spécifiques à une propriété donnée de l'objet. Chaque PE est considérée par Lederman et Klatzky (1987) comme « optimale » à l'extraction d'une dimension en particulier. Ainsi, le *frottement latéral* est spécialisé dans la discrimination de la **texture** ; la *pression* est spécialisée dans l'évaluation la **dureté** ; le *contact statique* permet de jauger la **température** ; le *soulèvement* permet de déterminer le **poids** ; l'*enveloppement* permet d'appréhender la **forme dans sa globalité** ; le *suivi de contour* permet une nouvelle fois d'évaluer la **forme**, mais cette fois-ci plus **en détails**. Notons cependant qu'une PE n'est pas exclusivement liée à une propriété et si elle est optimale pour cette propriété, elle est aussi « suffisante » pour accéder à d'autres dimensions de l'objet. En d'autres termes, certaines PE peuvent extraire les mêmes propriétés. Certaines sont très spécifiques et permettent l'accès à un nombre restreint de propriétés : il en

va ainsi de la PE *frottement latéral* (optimale pour l'analyse de la texture et suffisante pour la dureté et la température) et de la PE *pression* (optimale pour la dureté et suffisante pour la texture et la température). D'autres sont plus générales et permettent l'accès à un nombre élevé de propriétés comme les PE *suivi de contour* et *enveloppement* qui sont optimales pour traiter respectivement la forme exacte et le volume, et suffisantes pour traiter un grand nombre de propriétés (texture, dureté, température, poids, forme globale pour l'enveloppement et texture, dureté, température, poids, volume, forme globale pour le suivi de contour). Le caractère général ou spécifique d'une PE est intrinsèquement lié à ses caractéristiques invariantes, notamment la nature de son mouvement (statique ou dynamique) et la direction de sa force (gravitationnelle ou tangentielle).

Le recoupement entre PE au niveau du traitement des propriétés de l'objet donne de la souplesse à l'exploration du sujet et lui permet d'avoir accès à une certaine redondance de l'information haptique, ce qui participe à compenser la nature séquentielle du toucher haptique. De plus, certaines PE peuvent être effectuées simultanément, telles que le *frottement latéral* et la *pression* permettant ainsi le traitement à la fois de la texture et de la dureté, et participant à une identification plus rapide de l'objet (Klatzky, Lederman, & Reed, 1989). Cependant, certaines PE sont incompatibles avec d'autres d'un point de vue moteur, et ne peuvent donc pas être réalisées simultanément. Par exemple, on ne peut pas effectuer en même temps un frottement latéral et un suivi de contour. Dans ce cas, les mouvements réalisés pour explorer un objet devront être effectués successivement, ce qui accentue la lenteur et le caractère séquentiel du toucher.

La question de la séquentialité est centrale pour bien comprendre le fonctionnement de la perception haptique. Le toucher haptique est par nature séquentiel. Malgré la redondance de certaines PE dans le traitement d'une dimension de l'objet, la séquentialité reste dominante pour accéder et traiter l'information haptique. Elle s'observe aussi bien entre les PE (incompatibilité motrice entre différentes PE), que pour une même PE (c'est le cas du suivi de contour qui est utilisé pour accéder à la forme détaillée de l'objet). Cet aspect séquentiel, coûteux d'un point de vue cognitif lors de l'intégration des informations traitées, est cependant nécessaire, car la juxtaposition des mouvements exploratoires permet une perception plus globale et précise de l'objet.

Les observations qui ont permis à Lederman et Klatzky (Klatzky, Lederman, & Metzger, 1985 ; Lederman & Klatzky, 1987, 1993), mais également à Davidson (1972) d'identifier et de classer ces différents mouvements d'explorations, ont été réalisées sur des

explorations d'objets en trois dimensions. A la différence des objets tridimensionnels, les images tactiles qui sont bidimensionnelles sont fixées sur la page. Elles ne sont ni préhensibles, ni manipulables et présentent une épaisseur relative. En tenant compte de ces caractéristiques, il apparaît que certaines PE ne sont pas compatibles avec l'exploration d'images en relief, telles que le *soulèvement*, qui nécessite un objet manipulable ou l'*enveloppement* qui nécessite une certaine épaisseur afin que la main puisse être en contact simultanément avec la surface et les contours de l'objet.

Lederman et Klatzky (1987, 1993) ont donc montré que la main est un dispositif intelligent qui utilise ses capacités instrumentales afin d'améliorer ses fonctions sensorielles. Parler de « la » main au singulier, n'est pas tout à fait juste. Par cet abus de langage qui se veut exhaustif, soulignons de manière triviale que l'être humain est bien doté de deux mains et que l'utilisation de ses deux mains a un impact sur la qualité des explorations.

1.2. EXPLORER AVEC UNE OU DEUX MAINS ?

Chez l'adulte, l'exploration bimanuelle est plus efficace que l'exploration unimanuelle pour identifier des images tactiles d'objets familiers (Wijntjes, Lienen, Van Verstijnen, & Kappers., 2008). En condition bimanuelle, les sujets aveugles reconnaissent même mieux des formes géométriques 2D que les adultes voyants explorant sans voir (Russier, 1999). L'exploration bimanuelle offre un certain nombre d'avantages vis-à-vis de l'exploration unimanuelle. Elle augmente la taille du champ perceptif et permet une utilisation du mouvement plus efficace (Hatwell, 2003). Dans l'étude de Rovira (Rovira et al., 2011) sur les performances de rotation mentale chez des adolescents aveugles et voyants, il a été montré que les sujets aveugles qui explorent des formes géométriques bidimensionnelles avec leurs deux mains ont de meilleures performances de rotation mentale que les sujets voyants qui ont une préférence pour les explorations unimanuelles. De plus, les adolescents voyants qui utilisent une exploration bimanuelle, ont de meilleurs résultats concernant la rotation mentale de formes complexes. Les auteurs s'appuient sur des travaux de Millar (Millar, 1994 ; Millar & Al-Attar, 2002, 2004) pour expliquer que l'exploration bimanuelle permet d'utiliser l'axe du corps comme un cadre de référence spatiale pour le toucher, et que l'information récoltée va pouvoir être encodée par rapport au centre de gravité et à la posture du corps propre. Cette référence spatiale au corps favorise certains types d'exploration, en particulier l'exploration symétrique qui fait nécessairement appel aux deux mains.

Cependant, l'exploration bimanuelle, pour être facilitatrice du traitement de l'information haptique, est contrainte par certaines caractéristiques du pattern exploré, en particulier la présence d'un axe de symétrie. Lorsqu'une figure est symétrique et qu'elle est explorée avec les deux mains, le fait que les mêmes informations soient présentes de part et d'autre de l'axe de symétrie semble être un facteur d'économie en terme de traitement de l'information. En revanche, si la figure est asymétrique, chaque main doit traiter une information différente ce qui paraît difficilement gérable d'un point de vue cognitif. En effet, une exploration bimanuelle d'un objet asymétrique demande une dissociation de l'attention sur les différentes zones de l'objet exploré, ce qui implique une augmentation du coût attentionnel en comparaison à une exploration unimanuelle. En ce sens, Ballestros et Reales (2004) ont montré qu'une exploration unimanuelle est plus adaptée à une tâche utilisant des formes bidimensionnelles asymétriques.

1.3. NOS ATTENTES

Guidage sémantique et procédures d'exploration

Dans un livre illustré, texte et image interagissent. Lorsque l'enfant voit, l'image est un support ludique qui illustre le texte. Lorsque la vue fait défaut, l'interaction entre texte et image prend toute son importance dans le sens où le texte devient autant le support de l'image qu'inversement. Le texte donne des renseignements sur l'image et peut aider le lecteur à mieux comprendre ce qui est dessiné sous ses doigts. En ce sens, nous postulons que l'histoire qui accompagne les images tactiles dans un livre permet de guider les mouvements d'exploration, dans une association subtile entre processus top-down (indice sémantique) et processus bottom-up (découverte de l'objet). Sur la base des informations sémantiques disponibles, les enfants formulent des hypothèses sur l'identité des objets. Ces hypothèses peuvent être utilisées pour guider le mouvement des mains afin de rechercher des indices concordants dans l'image tactile.

Quelques études ont observé le lien entre information sur l'objet à explorer et mouvements mis en œuvre pour découvrir cet objet. Alexander, Jonhson, et Schreiber (2002) ont mis en évidence chez des enfants voyants explorant sans voir que les connaissances dans un domaine spécifique influencent les stratégies d'exploration face à des objets relevant de ce domaine, en orientant celles-ci vers les attributs diagnostiques de l'objet. Plus récemment, Theurel et ses collaborateurs (Theurel, Polato, Caldironi, Lanners, Claudet, Caldin, & Gentaz, 2010) ont décrit les interactions verbales entre enfants et adultes pendant la lecture d'un livre

tactile. Ils ont montré que la description des traits principaux de l'image induisait une utilisation spécifique des PE. Nous nous attendons donc à ce que l'aide apportée par l'histoire structure la manière d'explorer, en poussant les enfants à parcourir l'image de manière plus étendue en utilisant leurs deux mains par exemple. De plus, la connaissance a priori des différents éléments qui se trouvent sur l'image pourrait favoriser des PE spécialisées dans le traitement de la forme, comme le *suivi de contour* par exemple.

Statut visuel et procédures d'exploration

Les enfants déficients visuels sollicitent plus régulièrement leur système haptique que les enfants voyants. De plus, ils sont plus habitués à manipuler des livres en relief. Un certain nombre d'études ont d'ailleurs montré que les aptitudes d'explorations haptique et les mouvements des mains sont plus efficaces chez les enfants déficients visuels que chez les enfants voyants (D'Angiulli et al, 1998 ; Rovira, Deschamps, & Baena-Gomez, 2011 ; Vinter, Fernandes, Orlandi, & Morgan, 2012). Nous nous attendons donc à ce que les enfants déficients visuels mettent en œuvre des procédures d'exploration plus efficaces que leurs pairs voyants, en utilisant une exploration plutôt bimanuelle et des PE adaptées au traitement des images tactiles.

De plus, nous avons évoqué les travaux de Millar (1994) qui pointent l'importance d'un cadre de référence centré sur le corps qui facilite une exploration haptique bimanuelle symétrique. Quand un codage égocentré est possible, les performances d'adultes aveugles dans des tâches spatiales s'améliorent (Coluccia, Coluccia, Mammarella, & Cornoldi, 2009). La possibilité d'utiliser ce cadre de référence égocentré repose sur la capacité à maintenir une stabilité posturale. Or, cette stabilité est facilitée par la perception de la lumière. Il est donc possible que les enfants présentant les degrés de handicap visuels les plus sévères, déploient une exploration moins symétrique que leurs camarades bénéficiant d'une perception lumineuse.

Développement des procédures d'exploration

Dans l'introduction générale, nous avons évoqué le développement des mouvements d'explorations¹⁰. Les études menées sur le sujet depuis quelques dizaines d'années ont mis en évidence une évolution de la qualité de ces mouvements avec l'âge chez les enfants voyants

¹⁰ Introduction générale. 2.3 La perception haptique d'un point de vue développemental, p.25

(Piaget & Inhelder, 1947/1963 ; Abravanel, 1968 ; Zaporozhets, 1965 ; Berger & Hatwell, 1995), comme chez les enfants déficients visuels (Simpkins, 1979 ; Simpkins & Siegel, 1979 ; Morrongiello et al., 1994). Ainsi, avant 5-6 ans, les explorations seraient plutôt passives, mobilisant plus la paume de la main que les doigts, avec une utilisation plutôt anarchique de PE, pas forcément adaptées aux propriétés de l'objet à traiter. Après 5-6 ans, les explorations deviennent plus dynamiques, avec une utilisation des doigts qui se systématisent. Cependant, le traitement de l'objet exploré reste global. C'est autour de 7-8 ans que des explorations plus locales apparaissent, avec une utilisation des PE plus adaptée et mieux organisée. L'objet est d'abord appréhendé dans sa globalité, puis analysé plus dans le détail.

Rappelons que nos choix en termes de matériel expérimental ne nous placent pas en condition optimale pour étudier l'effet de l'âge sur les mouvements déployés par les enfants pour explorer les images. Cet effet d'âge éventuel risque d'être annulé par le changement des propriétés des images entre 3 et 8 ans d'une part, 8 et 12 d'autre part. Ceci étant, entre 3 et 8 ans, nous pouvons nous attendre à observer une évolution de l'exploration haptique entre le premier groupe d'âge (3-6 ans) et le second groupe d'âge (6-8 ans). Nous postulons que les enfants les plus jeunes (groupe 1) utilisent des PE passives, mobilisant peu les doigts comme le contact statique, alors que les enfants plus âgés (groupe 2) mettent en œuvre des PE plus dynamiques mais qui restent globales, comme le balayage. A partir de 8 ans (groupe 3 et 4), nous pouvons nous attendre à ce que les enfants déploient des explorations plus matures, avec l'utilisation de PE diversifiées, globales et locales, permettant une bonne appréhension de l'image.

Procédures d'explorations et expertise haptique

Une pratique intensive du toucher permet de développer des compétences haptiques (Heller, 2000). Pour illustrer de manière détournée cette affirmation, d'Anguilli, Kennedy et Heller (1998) présentent une série de 8 images en relief à sept enfants aveugles congénitaux ainsi qu'à des enfants voyants âgés de 8 à 13 ans. Les enfants aveugles font preuve de meilleures performances de reconnaissance que les enfants voyants (45% contre 9%). On retrouve ici un effet du statut visuel. Cependant, lorsque leurs explorations sont guidées, les enfants voyants augmentent significativement leur pourcentage de reconnaissance, qui passe à 35%, alors qu'il n'y a pas d'impact de l'exploration guidée chez les enfants aveugles. D'Anguilli et Kennedy (2000) confirment ce résultat en montrant que des enfants guidés dans leur exploration parviennent à des performances équivalentes à celles d'adultes guidés.

Guider l'exploration équivaut à donner un certain niveau d'expertise. Cela permet un traitement de l'image plus efficient. En effectuant les mouvements adaptés, l'extraction et l'intégration des informations relatives à la forme sont facilitées. De plus, cela permet d'alléger le contrôle attentionnel au profit des processus d'identification de l'image.

L'expertise haptique va ainsi donner au sujet les capacités d'adapter ses PE à l'objet exploré et traiter en parallèle un grand nombre d'informations. Des enfants qui ont l'habitude de lire et de manipuler des livres tactiles illustrés seront plus enclins à acquérir de telles compétences. Nous postulons donc que plus les enfants gagnent en expertise, plus ils vont déployer une exploration bimanuelle dynamique, caractérisée par une diversité des PE utilisées, permettant un traitement global et local de l'image explorée pour accéder à une information haptique de qualité, facilitant ainsi les processus de reconnaissance.

2. METHODE

Rappelons que les trois chapitres qui composent cette première partie sur le rôle des facteurs « sujet » dans la compréhension des images tactiles relatent les observations faites dans le cadre de notre expérience princeps. La méthode appliquée pour obtenir les résultats présentés dans ce second chapitre est donc similaire à celle détaillée dans le premier chapitre (sujets, matériel, procédure, voir p. 53). Nous ne ferons ici que préciser les variables mesurées et analysées dans ce second chapitre.

VARIABLES DE L'EXPLORATION HAPTIQUE

Les variables d'intérêt dans ce chapitre concernent les *stratégies d'exploration*. Ces variables sont relatives à la manière dont les enfants utilisent leurs mains pour appréhender les images au sein des livres tactiles illustrés. Afin de cerner le profil d'exploration des enfants en fonction de leurs caractéristiques, quatre variables ont été définies. Elles ont été codées par deux binômes travaillant indépendamment et n'ayant aucune information sur les hypothèses de travail ou l'identité des participants. Le pourcentage global de concordance entre les binômes s'élève à 84%, allant de 79% (procédures d'exploration) à 86% (explorations bimanuelles et/ou unimanuelles). Avant analyse, les divergences de codage entre ces binômes ont été revues collectivement afin de trancher pour l'un ou l'autre.

- Les **explorations bimanuelles et/ou unimanuelles** Trois types d'explorations ont été codés en fonction du nombre de mains utilisées pour explorer : les explorations unimanuelles (une seule main explore), les explorations bimanuelles (les deux

mains explorent), les explorations mixtes (alternance entre explorations unimanuelles et bimanuelles). Chaque enfant obtient un pourcentage moyen d'explorations unimanuelles, bimanuelles et mixtes sur l'ensemble des planches explorées. Si pour une planche l'enfant utilise uniquement ses deux mains pour explorer, elle est codée « bimanuelle », s'il utilise uniquement une main, elle est codée « unimanuelle », s'il alterne les explorations à une et deux mains, elle est codée « mixte ».

- La **symétrie des mouvements d'exploration** (Ballesteros et al., 1997). Les mouvements d'exploration sont qualifiés de « symétriques » lorsque les deux mains effectuent la même procédure en même temps. Pour chaque planche, on évalue la présence ou l'absence de mouvements symétriques (1 = présence/ 0 = absence). Chaque enfant obtient un pourcentage moyen de symétrie des explorations sur l'ensemble des planches.
- Les **procédures d'exploration** (PE). Nous avons codé l'utilisation de cinq PE décrites dans la littérature : le *balayage* ou *frottement latéral* (Davidson, 1972 ; Lederman & Klatzky, 1987), le *suivi de contour* (Lederman & Klatzky, 1987), la *pince* (Davidson, 1972), la *pression* (Lederman & Klatzky, 1987), le *contact statique* (Lederman & Klatzky, 1987).
Pour chaque planche, on code la présence de chaque PE, et ce peu importe la durée (1=présente / 0=absente). Chaque enfant obtient un pourcentage moyen d'utilisation de chaque PE sur l'ensemble des planches explorées.
- Le **nombre total de procédures d'exploration**. Cette dernière variable est un indice de la variété des modes d'exploration utilisés par l'enfant. Il correspond au nombre moyen de PE mises en œuvre par l'enfant pour l'exploration d'une planche.

3. RESULTATS

Concernant les *enfants déficients visuels*, des analyses de variance ont été réalisées sur les différentes variables d'exploration haptique pour chaque enfant avec le statut visuel (2 groupes : aveugles versus malvoyants), le guidage sémantique (2 conditions), et le degré d'expertise tactile (3 niveaux) comme facteurs inter-sujets. Lorsqu'un effet du statut visuel

apparaît, montrant une différence entre aveugles et malvoyants, une ANOVA avec le facteur OMS (3 catégories) à la place du facteur statut visuel a été conduite. Le facteur âge a été traité différemment. Afin de ne pas introduire des facteurs confondus liés à l'adaptation des images en fonction de l'âge (taille de l'image et thème), nous n'avons pas effectué nos analyses statistiques sur les quatre groupes d'âges, mais nous les avons comparé deux à deux : les 3-6 ans versus les 6-8 ans et les 8-10 ans versus les 10-12 ans.

Les mêmes types d'analyses ont été menés pour le groupe *d'enfants voyants*, avec le guidage sémantique et l'âge comme facteurs inter-sujets. Quand nécessaire, des tests t de Student ont été réalisés pour comparer les performances des enfants voyants avec celles des enfants aveugles ou malvoyants.

Nous proposons de rendre compte de ces résultats en examinant un à un les effets des facteurs d'intérêt pour notre expérience, à savoir le statut visuel, puis le guidage sémantique l'expertise tactile et enfin l'âge. Les effets d'interaction potentiels entre variables ont été introduits progressivement, à chaque nouvelle variable et relativement à celle(s) traitée(s) juste auparavant. Mais avant d'analyser la manière dont les enfants utilisent leurs mains pour explorer des images, nous allons commencer par observer le lien entre cette manière d'explorer et les performances de reconnaissance.

3.1. STRATEGIES D'EXPLORATION ET RECONNAISSANCES

Regardons les liens entre stratégies d'exploration et compréhension haptique des images tactiles explorées. Ces liens sont étudiés à partir de corrélations de Pearson effectuées entre les types de reconnaissances et les différentes stratégies d'exploration des enfants déficients visuels d'une part et des enfants voyants d'autre part. Chaque groupe a été divisé en deux sous-groupes en fonction de la présence ou de l'absence du guidage sémantique, facteur qui, on l'a vu dans le chapitre 1, affecte fortement la qualité des reconnaissances par l'enfant. Les profils de corrélation des enfants déficients visuels et des enfants voyants sont, nous allons le voir, très différents, que l'histoire accompagne les explorations ou non.

Commençons par analyser les profils des *enfants déficients visuels*. Ils diffèrent en fonction de la présence ou de l'absence du guidage sémantique (voir Tableau 9 et Tableau 10). Avec l'histoire, les liens qui unissent reconnaissances et stratégies d'exploration sont nombreux, comme le montre le Tableau 9. Ainsi, les reconnaissances correctes sémantiques (CS) augmentent avec une exploration bimanuelle, $r = .44$, $p < .05$, et diminuent avec une

exploration mixte, $r = -.50$, $p < .05$. Des corrélations négatives sont mises en évidence entre les reconnaissances CS et des procédures d'exploration ne favorisant pas la perception de la forme, comme la *pince*, $r = -.34$, $p < .05$, et la *pression*, $r = -.35$, $p < .05$, cette dernière étant également corrélée positivement avec les reconnaissances incorrectes sémantiques (IS), $r = .44$, $p < .05$. Notons enfin que les reconnaissances IS diminuent avec la mise en œuvre de plusieurs procédures d'exploration, $r = -.42$, $p < .05$, ainsi qu'avec l'utilisation de la PE *balayage*, $r = -.36$, $p < .05$.

Tableau 9. Corrélations entre les stratégies d'exploration et les types de reconnaissances chez les enfants déficients visuels en condition AVEC guidage sémantique (corrélations significatives marquées à $p < .05$).

	DEFICIENTS VISUELS - Avec guidage sémantique				
	Correctes sém.	Correctes géo.	Correctes tex.	Plausibles	Incorrectes sém.
Bimanuelle	.44*	-.07	-.06	-.01	-.30
Mixte	-.50*	.08	.04	.10	.24
Unimanuelle	-.12	.02	-.20	-.16	.27
Symétrie	.23	.33*	-.03	-.27	-.18
Suivi de contour	.34*	-.21	.08	.02	-.26
Pince	-.34*	.18	.23	-.06	.33
Balayage	.25	-.20	.03	-.13	-.36*
Pression	-.35*	.35	-.30	.16	.44*
Contact statique	.05	-.11	-.04	.05	-.08
Nb de procédures	.27	-.35*	.02	.14	-.42*

Tableau 10. Corrélations entre les stratégies d'exploration et les types de reconnaissances chez les enfants déficients visuels en condition SANS guidage sémantique (corrélations significatives marquées à $p < .05$).

	DEFICIENTS VISUELS - Sans guidage sémantique				
	Correctes sém.	Correctes géo.	Correctes tex.	Plausibles	Incorrectes sém.
Bimanuelle	.45*	-.13	-.31	-.13	-.07
Mixte	-.25	.26	.35*	.29	.03
Unimanuelle	-.49*	-.20	.03	-.24	.09
Symétrie	.39*	-.07	-.18	-.08	-.14
Suivi de contour	-.02	-.02	-.14	.11	.40*
Pince	-.07	-.02	.30	.04	-.06
Balayage	.16	-.03	-.06	-.02	-.24
Pression	.24	.20	-.16	-.12	-.11
Contact statique	-.27	-.09	.01	-.01	.08
Nb de procédures	.26	.04	-.22	.16	.09

Lorsque l'histoire n'accompagne pas les explorations, les liens entre stratégies d'exploration et reconnaissances sont moins nombreux, comme en témoigne le Tableau 10. Il apparaît cependant que plus l'exploration est bimanuelle et symétrique, meilleures sont les reconnaissances sémantiques, respectivement $r = .45, p < .05$ et $r = .39, p < .05$. En revanche, et de manière logique, plus l'exploration est unimanuelle, plus les reconnaissances correctes sémantiques diminuent, $r = -.49, p < .05$. Enfin, la mise en œuvre du *suivi de contour* est lié avec un nombre croissant d'erreurs sémantiques, $r = .40, p < .05$.

Chez les enfants voyants, on ne retrouve pas les mêmes liens entre stratégies d'exploration et types de reconnaissance que chez les enfants déficients visuels (voir Tableau 11 et Tableau 12).

Tableau 11. Corrélations entre les stratégies d'exploration et les types de reconnaissances chez les enfants voyants en condition AVEC guidage sémantique (corrélations significatives marquées à $p < .05$).

	VOYANTS - Avec guidage sémantique				
	Correctes sém.	Correctes géo.	Correctes tex.	Plausibles	Incorrectes sém.
Bimanuelle	.17	.13	-.10	-.11	.28
Mixte	-.07	-.17	-.17	.09	.00
Unimanuelle	-.09	.00	.20	.03	-.24
Symétrie	.27	.06	-.16	-.20	-.07
Suivi de contour	.38*	.12	-.06	.07	.03
Pince	-.36*	-.15	.25	-.10	.00
Balayage	-.18	-.12	-.22	.01	-.13
Pression	.31	.34*	.09	-.12	.10
Contact statique	-.25	-.23	-.10	.29	.06
Nb de procédures	.23	-.12	-.35*	.30	.29

Tableau 12. Corrélations entre les stratégies d'exploration et les types de reconnaissances chez les enfants voyants en condition SANS guidage sémantique (corrélations significatives marquées à $p < .05$).

	VOYANTS - Sans guidage sémantique				
	Correctes sém.	Correctes géo.	Correctes tex.	Plausibles	Incorrectes sém.
Bimanuelle	.25	.16	.12	-.21	.25
Mixte	-.39*	.09	.00	.60*	-.06
Unimanuelle	.10	-.21	-.10	-.30	.25
Symétrie	.34*	-.08	-.14	-.19	-.21
Suivi de contour	-.19	.30	-.09	.54*	.11
Pince	-.08	-.11	.35*	-.29	-.03
Balayage	-.02	-.16	.11	.14	.36*
Pression	.22	.06	-.27	-.37*	-.25
Contact statique	-.08	-.15	.07	.21	-.22
Nb de procédures	.10	.11	.09	0,25	-.11

Lorsque l'histoire guide les explorations (cf. Tableau 11), le nombre de reconnaissances CS est d'autant plus important que l'enfant utilise le *suivi de contour*, $r = .38, p < .05$. En revanche, les reconnaissances CS diminuent avec l'emploi de la PE *pince*, $r = -.36, p < .05$. Enfin, notons une corrélation positive entre la *pression* et les reconnaissances correctes géométriques (CG), $r = .37, p < .05$, et une corrélation négative entre le nombre de procédures utilisées et les reconnaissances correctes texture (CT), $r = -.35, p < .05$.

Lorsque les explorations ne sont pas guidées par des informations sémantiques (cf. Tableau 12), les reconnaissances CS augmentent avec des explorations symétriques, $r = .34, p < .05$. En revanche, elles diminuent en présence d'explorations mixtes, $r = -.39, p < .05$. On retrouve les explorations mixtes au niveau des reconnaissances plausibles qui sont favorisées par l'alternance entre exploration unimanuelle et bimanuelle, $r = .60, p < .05$, et qui diminuent avec la mise en œuvre de la *pression*, $r = -.37, p < .05$. Notons que les reconnaissances plausibles sont également favorisées par l'utilisation du *suivi de contour*, $r = .54, p < .05$. Enfin, l'utilisation prégnante du *balayage* est liée avec un nombre d'erreurs sémantiques plus important, $r = .41, p < .05$.

Cette analyse nous a permis d'identifier les stratégies les plus liées à une reconnaissance de qualité. Il semble donc qu'une exploration efficace en terme de processus de reconnaissance n'est pas la même selon le degré du handicap visuel. Il apparaît également que la présence de l'histoire, qui, nous l'avons vu, facilite ces processus de reconnaissances grâce à un traitement top-down de l'information haptique, influence le lien entre stratégies d'exploration (impliquant un traitement bottom-up de l'information haptique) et bonnes performances de reconnaissance. Nous pouvons donc nous attendre à ce que le statut visuel d'une part et le guidage sémantique d'autre part aient bien un effet sur les mouvements d'exploration. C'est ce qui va nous intéresser à présent.

3.2. STRATEGIES D'EXPLORATION ET STATUT VISUEL

En nous appuyant sur la littérature (D'Angiulli et al., 1998 ; Rovira et al., 2011 ; Vinter et al., 2012), nous faisons l'hypothèse que les enfants déficients visuels mettent en œuvre des procédures d'exploration plus efficaces que leurs pairs voyants, en utilisant une exploration plutôt bimanuelle et un nombre varié de PE leur permettant un traitement global et local pour une meilleure compréhension du pattern exploré. Il est de plus possible que les enfants atteints d'un handicap visuel plus sévère soient moins enclins à une exploration

symétrique, du fait de la difficulté à utiliser un cadre de référence égocentré, causée par l'absence de perception de la lumière qui entrave la capacité à maintenir une posture stable.

Différents effets du statut visuel sur les stratégies d'exploration ont été mis en évidence. Le Tableau 13 résume les données, en distinguant les enfants selon leur statut visuel (aveugles, malvoyants, voyants).

Tableau 13. Moyennes et erreurs-types des stratégies d'exploration en fonction du statut visuel.

		Aveugles		Malvoyants		Voyants	
		Moyenne	Erreur type	Moyenne	Erreur type	Moyenne	Erreur type
Nombre de mains	Bimanuelle	54.56%	5.60%	74.82%	6.86%	34.35%	4.28%
	Mixte	36.19%	4.83%	22.86%	5.92%	29.97%	3.69%
	Unimanuelle	9.25%	5.37%	2.32%	6.58%	35.68%	4.10%
Symétrie		17.10%	4.25%	49.82%	5.21%	12.48%	3.25%
Procédures d'exploration	Suivi de contour	14.70%	2.45%	15.43%	3.00%	16.04%	1.87%
	Pince	12.52%	2.68%	15.82%	3.28%	13.60%	2.05%
	Balayage	49.98%	3.05%	50.59%	3.73%	48.48%	2.33%
	Pression	15.00%	3.01%	14.91%	3.68%	14.71%	2.30%
	Contact statique	7.80%	2.08%	3.25%	2.54%	6.74%	1.59%
Nb de procédures		2,30	0,08	2,56	0,10	1,84	0,06

- Nombre de mains qui explorent

Notons tout d'abord, comme l'illustre la Figure 17, que les enfants aveugles comme les enfants malvoyants utilisent de manière préférentielle leurs deux mains pour explorer les images, les explorations unimanuelles étant le moins utilisées ($t_s > 2.5$, $p_s < .01$).

En revanche, le groupe d'enfants voyants ne témoigne d'aucune préférence au niveau du nombre de mains mobilisées pour explorer les images. Ils utilisent à part égale les trois modes d'exploration (entre 30 et 35% d'occurrence moyenne pour chacun).

Chez les enfants déficients visuels, l'ANOVA met en évidence un effet du statut visuel sur le nombre de mains utilisées pour explorer les images. Comme en témoigne la Figure 17, les enfants malvoyants emploient plus d'explorations bimanuelles que les enfants aveugles, $F(1,58) = 6.71$, $p < .05$ ($M = 74.8\%$ contre $M = 54.6\%$), alors que les explorations unimanuelles et mixtes sont plus utilisées ou tendent à l'être par les enfants aveugles comparativement aux enfants malvoyants, respectivement $F(1,58) = 4.3$, $p < .05$ et $F(1,58) = 3.09$, $p = .08$ (UNIMANUELLE : $M = 9.25\%$ contre $M = 2.32\%$; MIXTE : $M = 36.19\%$ contre $M = 22.86\%$).

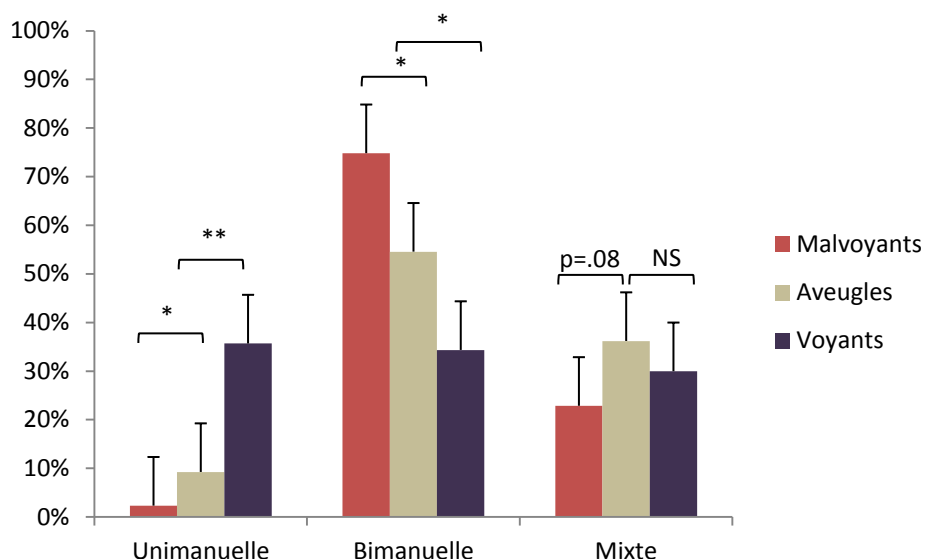


Figure 17. Utilisation des différents modes d'exploration en fonction du statut visuel (pourcentages et erreurs-types).

Lorsque l'on étudie plus en détail les explorations bimanuelles en prenant en compte la catégorie OMS, il apparaît que ce sont bien les enfants malvoyants (catégorie 3) qui ont le plus recours à leurs deux mains pour explorer l'image, $F(2,67) = 2.8$, $p < .05$, comparativement aux enfants atteints d'une cécité plus importante (catégories 4 et 5). Ce résultat est reproduit dans la Figure 18.

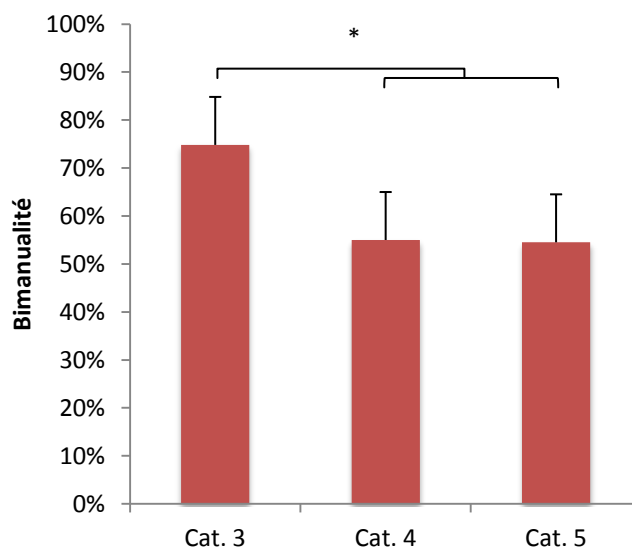


Figure 18. Utilisation de la bimanualité en fonction de la catégorie OMS (pourcentages et erreur-types).

Comparant les enfants déficients visuels (DV) à ceux voyants (V), le test t de Student révèle des différences significatives dans le recours à des stratégies bimanuelles, les enfants

DV utilisant plus leurs deux mains pour explorer que ne le font les enfants V, $t(140) = 4.58, p < .001$, et également dans le recours aux explorations unimanuelles, les voyants les utilisant davantage que les enfants DV, $t(140) = 5, p < .001$.

- Symétrie des explorations et nombre de procédures

Le statut visuel a un impact sur *l'utilisation symétrique des mains* lors de l'exploration et sur *le nombre de procédures* mises en œuvre pour explorer une image. Comme rapporté par la Figure 19, les enfants malvoyants explorent significativement plus en symétrie et ils utilisent plus de procédures d'exploration que les enfants aveugles d'une part ($F(1,58) = 19.93, p < .001$ et $F(1,58) = 3.99, p < .001$) et que les enfants voyants d'autre part ($t(98) = 5.59, p < .001$ et $t(98) = 6.38, p < .001$). Les enfants voyants sont ceux qui exécutent le plus faible nombre de mouvements exploratoires, avec également une différence significative par rapport aux enfants aveugles sur ce critère, $t(112) = 4.30, p < .001$.

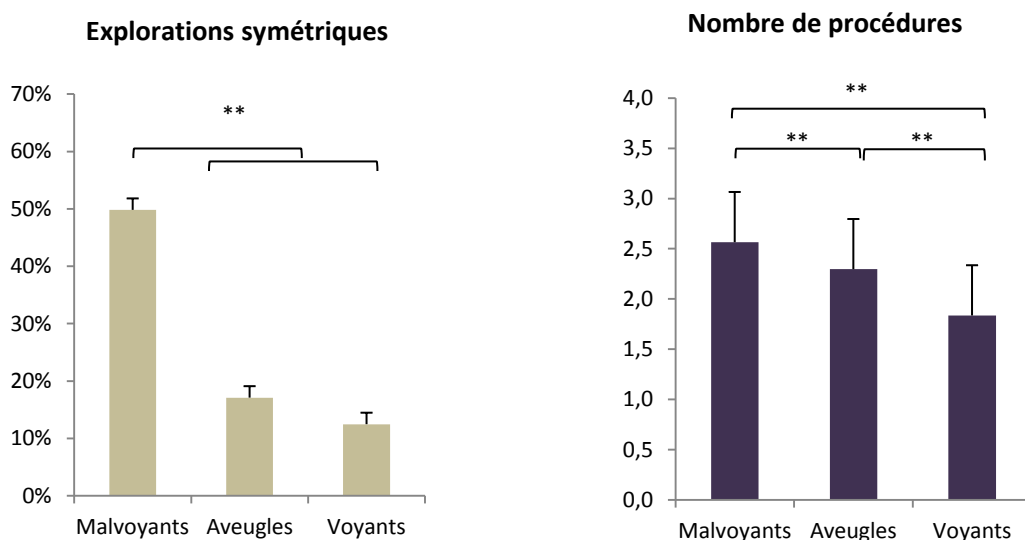


Figure 19. Utilisation d'explorations symétriques et nombre de procédures d'exploration en fonction du statut visuel (pourcentages et erreurs-types).

Lorsqu'on examine l'effet du degré de handicap visuel au moyen de la catégorie OMS, on observe uniquement un effet sur la symétrie des explorations. La Figure 20 indique que ce sont les enfants atteints de cécité complète (catégorie 5) qui produisent moins de mouvements d'exploration symétriques, $F(2,67) = 11.5, p < .001$, comparativement aux enfants atteints d'une cécité plus modérée (catégories 3 et 4), HSD de Tukey, $p_s < .05$.

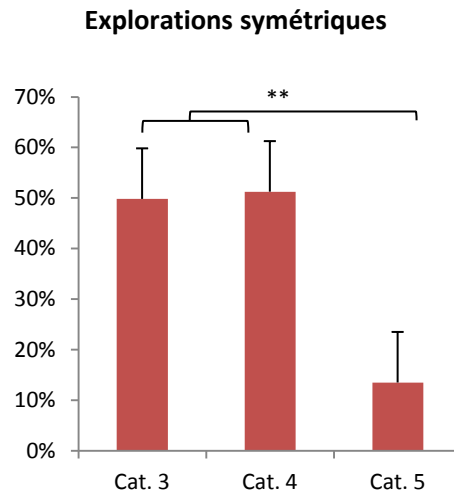


Figure 20. Utilisation d'explorations symétriques en fonction de la catégorie OMS (pourcentages et erreurs-types).

- Procédures d'exploration

Concernant l'utilisation des différentes procédures d'exploration, nous observons avec la Figure 21, qu'aucune différence significative n'émerge entre les enfants aveugles, les enfants malvoyants et les enfants voyants, $F_s < 1$ et $t_s < 1$.

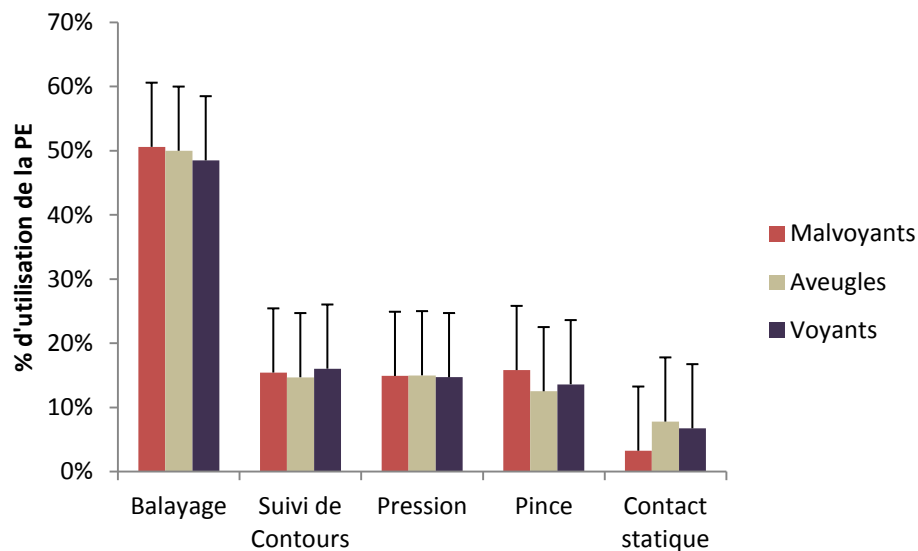


Figure 21. Utilisation des différentes PE en fonction du statut visuel (pourcentages et erreurs-types).

Quel que soit le statut visuel des enfants, la stratégie la plus utilisée est le *balayage*, avec des pourcentages d'utilisation pour une image autour de 50%, $T_s > 3$, $p_s < .001$. La PE la moins utilisée est le *contact statique*, mais seulement pour les enfants malvoyants et les enfants voyants (respectivement 3.25% et 6.74%), $T_s > 2.7$, $p_s < .001$. Les PE restantes (*suivi de*

contour, pression et pince) sont utilisées dans des proportions équivalentes quel que soit le degré du handicap visuel (entre 12.5% et 16%).

En résumé, la présence d'un handicap visuel n'influe pas sur les types de PE mises en œuvre. Aveugles, malvoyants ou voyants, tous utilisent les PE dans les mêmes proportions, avec une nette préférence pour le *balayage*, et une utilisation moindre du *contact statique*. Cependant, des différences surviennent quant à la manière de déployer ces PE. Ainsi, les enfants déficients visuels (aveugles et malvoyants) préfèrent explorer les images tactiles à l'aide de leurs deux mains plutôt qu'une seule. Nous observons que ce sont les enfants qui ont un degré de handicap visuel moins important (catégorie 3 de l'OMS) qui ont plus recours à la bimanualité comparativement aux enfants dont le handicap visuel est plus important (catégories 4 et 5 de l'OMS). Les enfants aveugles ont plus recours aux explorations unimanuelles et mixtes que les enfants malvoyants. Les enfants voyants, quant à eux, ne semblent pas présenter de préférences à ce niveau et emploient les explorations bimanuelles, unimanuelles et mixtes dans les mêmes proportions. Ce sont les enfants malvoyants qui font le plus de mouvements symétriques et les enfants voyants qui mettent en œuvre le moins grand nombre de PE.

Voyons maintenant comment le guidage sémantique peut moduler l'utilisation de ces stratégies d'exploration.

3.3. STRATEGIES D'EXPLORATION ET GUIDAGE SEMANTIQUE

Concernant l'impact de la lecture de l'histoire sur les mouvements d'exploration, nous postulons que la connaissance a priori des différents éléments qui se trouvent sur l'image aidera à structurer la manière d'explorer, en poussant les enfants à parcourir l'image de manière plus organisée. Cela devrait se traduire par une utilisation préférentielle des deux mains et un déploiement de PE spécialisées dans le traitement de la forme, notamment le *suivi de contour*.

Toutefois, contrairement à ces attentes, aucun effet principal du guidage sémantique sur les stratégies d'exploration n'est mis en évidence. Comme le montre le Tableau 14, le guidage sémantique ne semble pas avoir d'impact sur les différentes stratégies d'exploration mises en œuvre par les enfants, qu'ils soient aveugles, malvoyants ou voyants, $F_s < 1$.

Tableau 14. Moyennes des stratégies d'exploration chez les enfants aveugles, malvoyants et voyants en fonction du guidage sémantique.

		Aveugles		Malvoyants		Voyants	
		<i>Avec guidage</i>	<i>Sans guidage</i>	<i>Avec guidage</i>	<i>Sans guidage</i>	<i>Avec guidage</i>	<i>Sans guidage</i>
Modes d'exploration	Bimanuelle	55.48%	53.65%	75.24%	74.40%	36.67%	32.03%
	Mixte	35.00%	37.38%	21.90%	23.81%	27.86%	32.08%
	Unimanuelle	9.52%	8.97%	2.86%	1.79%	35.47%	35.89%
Symétrie		18.65%	15.56%	56.19%	43.45%	13.43%	11.53%
Procédures d'exploration	Suivi de contour	16.94%	12.47%	12.10%	18.76%	15.40%	16.67%
	Pince	13.69%	11.35%	12.18%	19.46%	16.09%	11.12%
	Balayage	49.43%	50.13%	51.31%	49.86%	46.31%	50.66%
	Pression	12.04%	17.96%	21.14%	8.67%	13.43%	15.98%
	Contact statique	7.50%	8.10%	3.27%	3.24%	7.92%	5.56%
Nb de procédures		2.39	2.20	2.46	2.67	1.80	1.87

Nous proposons maintenant de nous intéresser aux effets d'âge sur l'utilisation des stratégies d'exploration.

3.4. DEVELOPPEMENT DES STRATEGIES D'EXPLORATION

Afin d'introduire l'évolution des stratégies d'exploration avec l'âge, il est nécessaire de rappeler que les enfants qui ont participé à cette étude ont été répartis en quatre groupes d'âge : les 3-6 ans, les 6-8 ans, les 8-10 ans et les 10-12 ans. Pour des raisons de « surface » d'exploration (taille de l'image en relation avec la taille des mains) et de degré de difficulté sémantique véhiculée par l'histoire racontée à travers les images touchées par les enfants, les groupes d'âge n'ont pas exploré les mêmes images. Ainsi, les enfants plus jeunes (les 3-6 ans et les 6-8 ans) ont été confrontés à l'histoire du dessin d'un bonhomme ou de la construction d'une maison (cf. Matériel, p.57), alors que ceux plus âgés (les 8-10 ans et les 10-12 ans) ont été confrontés à l'histoire d'un âne attaché à un piquet sur une colline, ou à l'histoire de différents éléments qui apparaissent une nuit dans l'océan. Ces histoires sont déroulées avec des images présentant des structures spatiales différentes. Des différences tout d'abord liées à la taille : afin d'offrir une surface d'exploration plus étendue aux enfants plus âgés, les images qui leur sont présentées mesurent 21 x 29 cm (histoire de l'âne) et 25 x 25 cm (histoire de la mer) contre 15 x 15 cm pour les images destinées aux enfants plus jeunes. Ensuite, les images racontant l'histoire du bonhomme et de la maison sont constituées d'éléments présentant une symétrie parfaite, contrairement aux éléments constituant les images des histoires de l'âne et

de la mer qui ont une disposition plus aléatoire. Toutes ces différences nous ont incités à faire des comparaisons entre âges qui n'introduisent pas des facteurs confondus liés à la taille des images ou à la complexité des histoires. Nous n'avons ainsi pas effectué nos analyses statistiques concernant les stratégies d'exploration sur les quatre groupes d'âges, mais nous les avons comparé deux à deux : les 3-6 ans versus les 6-8 ans et les 8-10 ans versus les 10-12 ans.

Ces choix en termes de matériel expérimental ne nous placent pas en condition optimale pour étudier l'effet de l'âge sur les mouvements déployés par les enfants pour explorer les images. Cependant, en accord avec la littérature, nous pouvons nous attendre à observer une évolution de l'exploration haptique entre le premier groupe d'âge (3-6 ans) et le second groupe d'âge (6-8 ans). Nous postulons que les enfants les plus jeunes (groupe 1) utilisent des PE passives, mobilisant peu les doigts comme le contact statique, alors que les enfants plus âgés (groupe 2), mettent en œuvre des PE plus dynamiques mais qui reste globales, comme le balayage. A partir de 8 ans (groupe 3 et 4), nous pouvons nous attendre à ce que les enfants déploient des explorations plus matures, avec l'utilisation de PE diversifiées, globales et locales, permettant une bonne appréhension de l'image.

- Nombre de mains qui explorent

Nous allons tout d'abord examiner les résultats obtenus concernant le nombre de mains utilisées pour explorer les images en fonction de l'âge. La Figure 22 illustre ces données.

Concernant les *explorations unimanuelles*, nos résultats mettent en évidence une interaction significative entre statut visuel et âge chez les enfants déficients visuels les plus jeunes (deux premiers groupes d'âge : 3-6 ans et 6-8 ans), $F(1,26) = 4.64, p < .05$. Les enfants aveugles explorent plus avec une seule main que les enfants malvoyants entre 3 et 6 ans. Puis à partir de 6 ans, cette propension à l'exploration unimanuelle diminue chez les aveugles pour ne plus les différencier des malvoyants. De 8 à 12 ans, l'exploration unimanuelle chez les enfants déficients visuels reste faible et aucune différence entre les deux groupes n'est à noter, $F(1,28) = 1.09, p = .30$. Les enfants voyants, eux, emploient dans les mêmes proportions l'exploration unimanuelle entre 3 et 8 ans. Ils explorent plus avec une main que les enfants DV de 6-8 ans, $t(36) = 2.82, p < .01$. Nous observons de plus une augmentation significative de ce mode d'exploration chez les enfants voyants entre 8-10 ans et 10-12 ans, $F(1,24) = 5.23, p < .05$. Les enfants voyants de 10-12 ans sont ceux qui

emploient le plus d'explorations unimanuelles comparativement aux enfants DV, $t(28) = 2.93$, $p < .01$

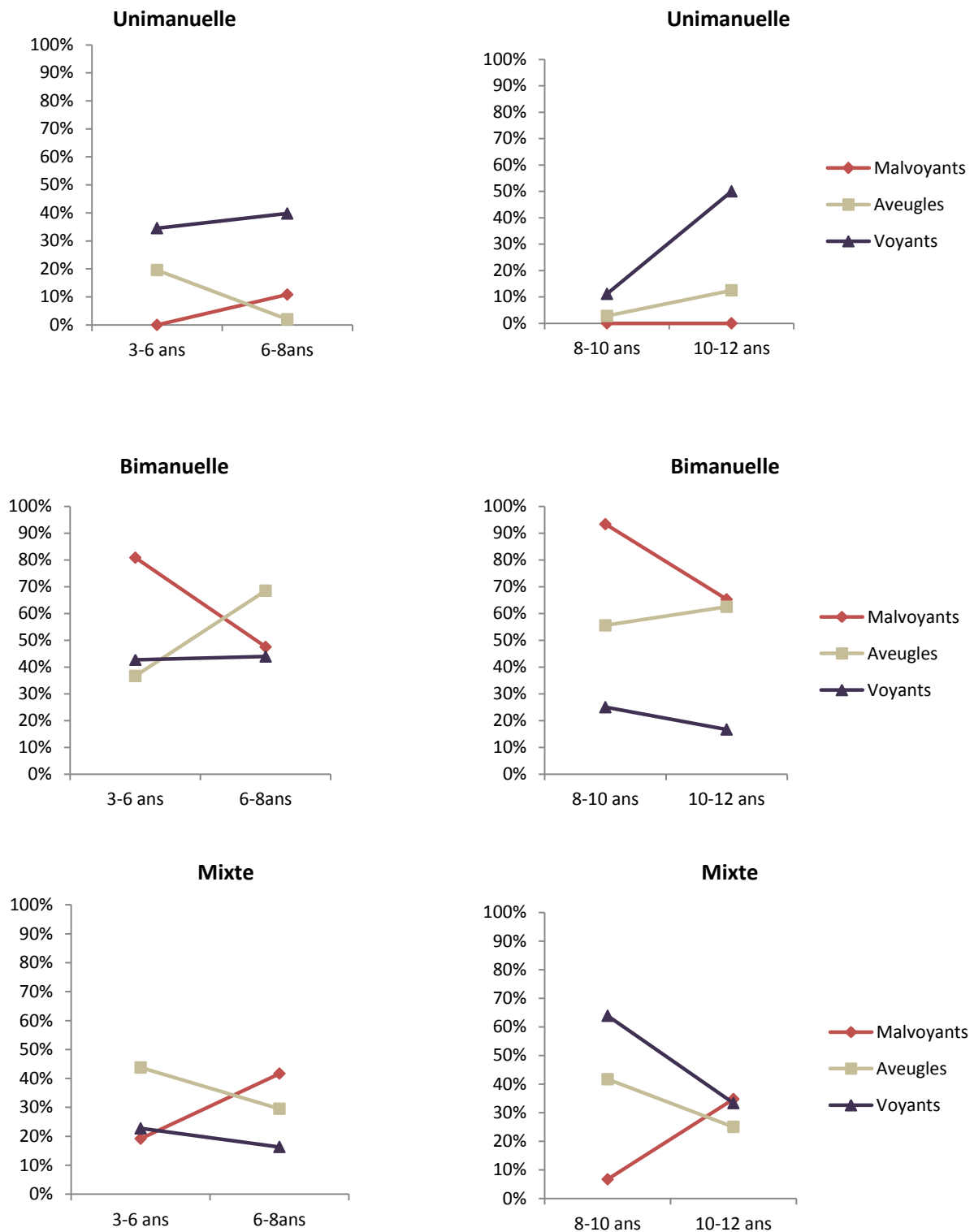


Figure 22 Pourcentages moyens d'utilisation des différents modes d'exploration en fonction de l'âge et du statut visuel.

Pour les *explorations bimanuelles*, une interaction significative entre âge et statut visuel émerge chez les enfants DV de 3 à 8 ans, $F(1,26) = 8.20, p < .01$. Les explorations bimanuelles se comportent à l'inverse des explorations unimanuelles en fonction de l'âge chez ces enfants. En effet, ce mode d'exploration est plus utilisé par les enfants malvoyants entre 3 et 6 ans comparativement aux enfants aveugles. Puis à partir de 6 ans, les enfants malvoyants mettent moins en œuvre leurs deux mains pour explorer l'image, au profit de l'exploration mixte, alors que les enfants aveugles utilisent plus leurs deux mains à partir de cet âge, délaissant les explorations unimanuelles et mixtes. Si entre 3 et 6 ans, les enfants malvoyants se différencient significativement de leurs pairs aveugles et voyants pour ce qui est de l'exploration bimanuelle, cette différence d'utilisation disparaît à partir de 6 ans. Chez les enfants plus grands, au delà de 8 ans, l'interaction entre statut visuel et groupe d'âge n'est pas significative, $F(1,28) = 1.87, p = .18$. Cependant, comme chez les enfants malvoyants plus jeunes, nous retrouvons la diminution de l'exploration bimanuelle au profit de l'exploration mixte chez les enfants malvoyants âgés de 10-12 ans, $F(1,28) = 4.31, p < .05$.

Chez les enfants voyants, les explorations bimanuelles évoluent peu entre 3 et 12 ans, $F < 1$. A partir de 8 ans, ils utilisent significativement moins leurs deux mains pour explorer que les enfants aveugles comme malvoyants, respectivement $t(32) = 4.02, p < .001$, $t(28) = 3.75, p < .001$, préférant d'abord les explorations mixtes (entre 8 et 10 ans) puis unimanuelles (à partir de 10 ans).

Deux autres interactions significatives entre âge et statut visuel ressortent pour ce qui concerne les *explorations mixtes* chez les enfants DV plus jeunes, $F(1,26) = 3.63, p = .06$ comme chez les plus âgés, $F(1,28) = 4.31, p < .05$. La Figure 22 indique qu'entre 3 et 6 ans, les enfants aveugles ont tendance à avoir plus recours aux explorations mixtes que leurs camarades malvoyants (LSD de Fisher, $p = .08$). A partir de 6 ans, les enfants malvoyants augmentent leur mise en œuvre d'exploration mixte pour rejoindre leurs pairs aveugles, diminuant par la même leurs explorations bimanuelles. Nous retrouvons les mêmes changements dans l'emploi des explorations mixtes chez les enfants DV plus grands : les enfants malvoyants de 8 à 10 ans utilisent moins le mode d'exploration mixte, comparativement aux enfants aveugles (LSD de Fisher, $p < .01$) ; puis à partir de 10 ans, ils ont davantage recours à ce mode d'exploration, délaissant l'exploration bimanuelle et rejoignant le taux d'utilisation d'explorations mixtes des enfants aveugles du même âge. Les enfants voyants utilisent peu les explorations mixtes entre 3 et 8 ans. A partir de 8 ans, l'utilisation des explorations mixtes augmente de manière notable chez les enfants voyants,

dépassant de manière significative les enfants DV, $t(32) = 3.25, p < .001$. Puis à partir de 10 ans, ils délaissent ce type d'exploration au profit de l'exploration unimanuelle, $F(1,24) = 4.79, p < .05$.

- Symétrie des explorations et nombre de procédures

Au sujet de la *symétrie des explorations* et du *nombre de procédures* utilisées pour explorer une image, nos résultats révèlent également un effet de l'âge illustré par la Figure 23.

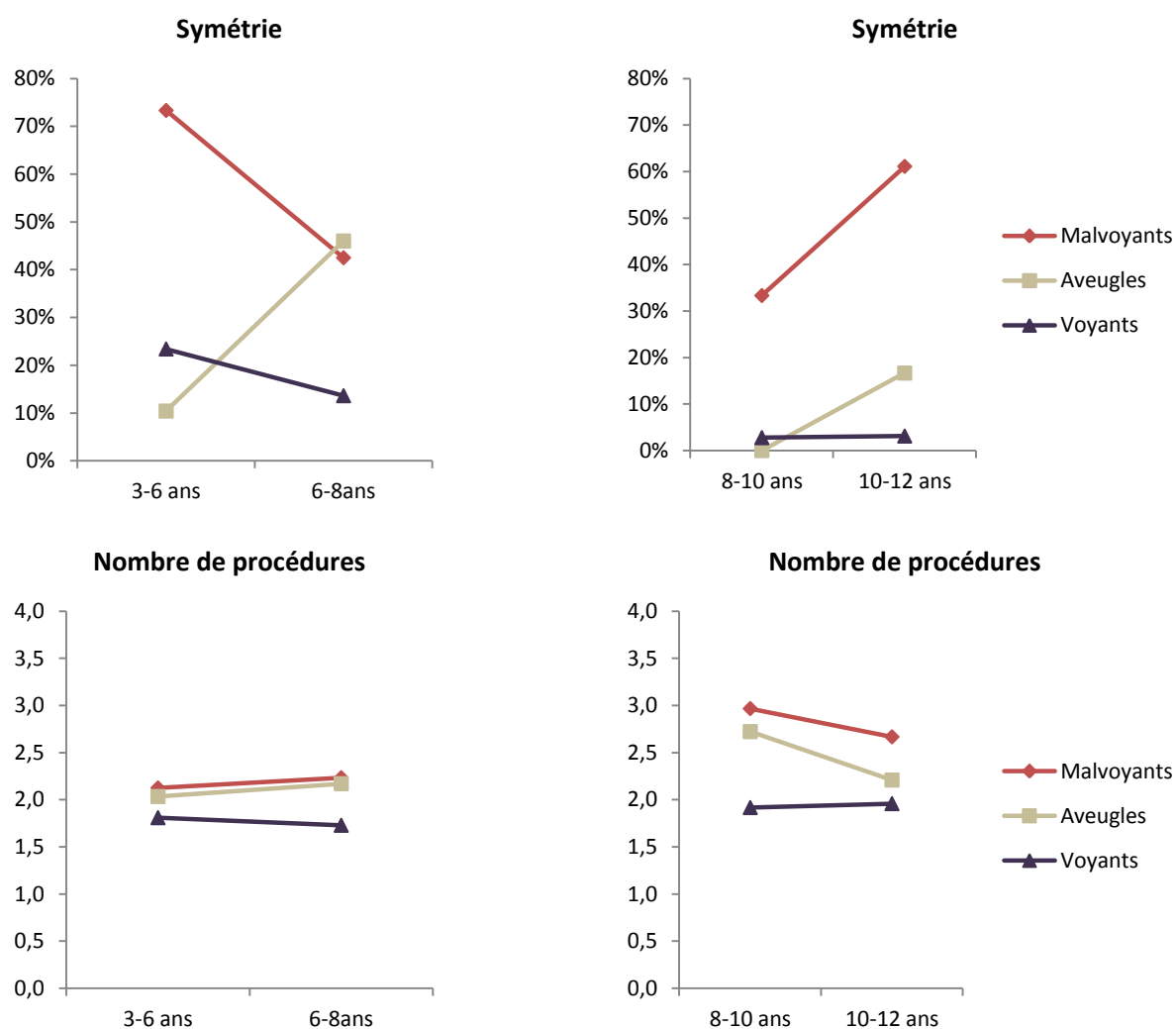


Figure 23 Pourcentages moyens d'explorations symétriques et nombre moyen de procédures d'exploration par image en fonction de l'âge et du statut visuel.

Concernant la *symétrie* des explorations chez les enfants DV de 3 à 6 ans, une interaction entre âge et statut visuel est à relever, $F(1,26) = 15.60, p < .001$. Entre 3 et 6 ans, les enfants malvoyants explorent significativement plus en symétrie que leurs pairs aveugles

(HSD de Tukey, $p < .001$) et voyants ($t(26) = 4.35$, $p < .001$). Puis à partir de 6 ans, cette tendance à l'exploration symétrique diminue chez les malvoyants, alors qu'elle augmente chez les aveugles et reste stable chez les voyants. Pour les enfants plus âgés (de 8 à 12 ans), aucun effet significatif de l'âge sur la symétrie des mouvements d'exploration n'a été mis en évidence.

Pour ce qui est du *nombre de PE*, aucun effet de l'âge ne ressort chez les enfants de 3 à 8 ans, quel que soit le statut visuel. En revanche, entre 8 et 12 ans, on observe que le nombre de PE utilisées par les enfants DV pour explorer une image diminue de manière significative, $F(1,28) = 10.69$, $p < .01$. Il reste stable chez les enfants voyants du même âge, $F < 1$.

- Procédures d'exploration

Intéressons nous à présent à l'évolution des PE en fonction de l'âge telle que montrée par la Figure 24. Notons tout d'abord que pour ce qui est de la *pince* et du *contact statique*, aucun effet significatif de l'âge n'a pu être démontré.

Le recours au *suivi de contour* est faible chez les enfants les plus jeunes (entre 3 et 6 ans) et il augmente de manière significative entre 6 et 8 ans uniquement chez les enfants voyants, $F(1,40) = 7.68$, $p < .05$. Chez les enfants plus grands, aucun effet significatif de l'âge n'a été mis en évidence.

Pour le *balayage*, on note un effet de l'âge chez les enfants plus âgés avec une augmentation notable entre 8-10 et 10-12 ans, chez les enfants DV, $F(1,28) = 10.22$, $p < .01$ comme chez les enfants voyants, $F(1,24) = 5.28$, $p = .05$.

Enfin, concernant la PE *pression*, nous observons sur la Figure 24 que chez les enfants âgés de 3 à 8 ans, il n'y a aucun effet de l'âge quel que soit le statut visuel de l'enfant, $F_s < 1$. En revanche, chez les enfants plus grands, l'évolution du pourcentage moyen de *pression* entre 8-10 ans et 10-12 ans est identique chez les enfants malvoyants et aveugles : il diminue significativement avec l'âge, $F(1,28) = 8.10$, $p < .01$. Les enfants voyants du même âge n'ont pas recours à la *pression*, contrairement à leurs camarades plus jeunes qui ont une utilisation de cette procédure d'exploration comprise entre 14 % et 16 %.

Nous allons voir pour finir l'influence du degré d'expérience haptique sur les stratégies d'exploration mises en œuvre par les enfants qui ont participé à notre étude.

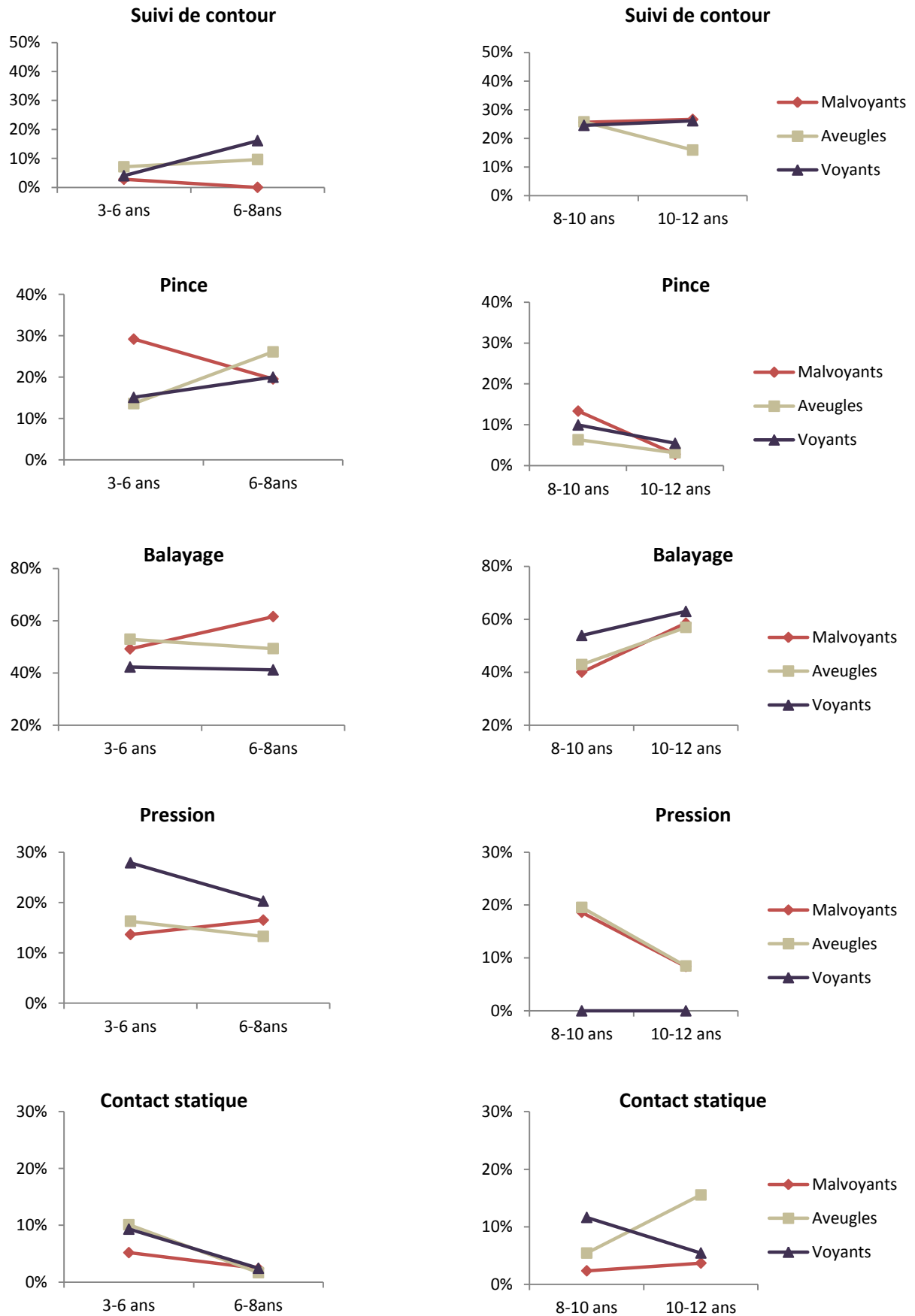


Figure 24 Pourcentages moyens d'utilisation des différentes procédures d'exploration en fonction de l'âge et du statut visuel.

3.5. STRATEGIES D'EXPLORATION ET DEGRE D'EXPERTISE HAPTIQUE

Le degré d'expertise haptique des enfants DV impacte significativement les stratégies d'exploration. Les résultats illustrés dans la Figure 25 révèlent un effet significatif du degré d'expertise haptique sur l'utilisation du *nombre de mains* durant l'exploration.

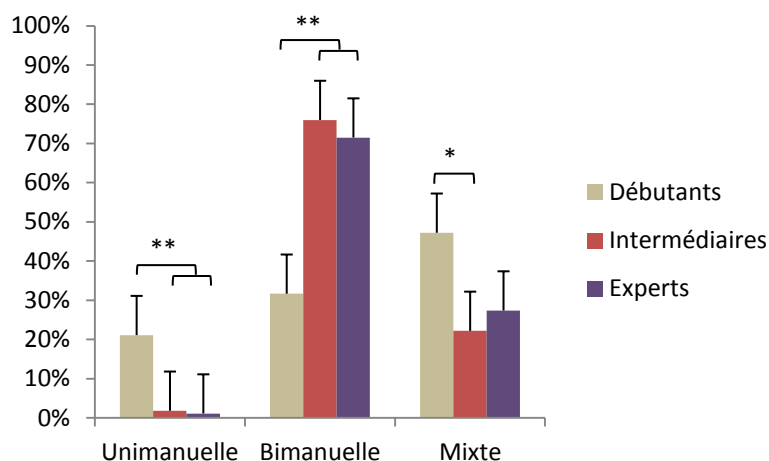


Figure 25 Pourcentages moyens d'utilisation des différents modes d'exploration en fonction de l'expertise haptique.

La propension à n'utiliser qu'une seule main diminue avec l'accroissement de l'expertise haptique, $F(2,58) = 8.37$, $p < .001$, et inversement, l'utilisation systématique des deux mains pour explorer l'image augmente avec le degré d'expérience, $F(2,58) = 8.63$, $p < .001$. En ce qui concerne le mode d'exploration mixte, il a tendance à diminuer entre le groupe d'enfants débutants et le groupe d'enfants se situant à un degré d'expertise haptique intermédiaire, $F(2,58) = 3.05$, $p = .05$. Des comparaisons a posteriori (HSD de Tukey) précisent que les enfants les moins expérimentés utilisent plus spontanément une main pour explorer, comparativement aux enfants qui ont un degré d'expertise intermédiaire ou élevé (respectivement $M = 11.7\%$ contre $M = 5.3\%$ et $M = 0.9\%$), $p_s < .05$. Les groupes intermédiaire et expert utilisent en revanche plus l'exploration bimanuelle que les enfants débutants (respectivement $M = 71.1\%$ et $M = 72.7\%$ contre $M = 49.2\%$), $p_s < .01$. Enfin, en ce qui concerne le mode d'exploration mixte, la seule différence significative mise en évidence par le test post hoc se situe entre les enfants débutants qui ont plus tendance à alterner exploration unimanuelle et bimanuelle que les enfants de niveau intermédiaire (respectivement $M = 39.2\%$ contre $M = 23.6\%$), $p < .05$.

Par ailleurs, comme le rapporte la Figure 26, nos résultats mettent en avant qu'avec l'augmentation du degré d'expertise (à partir du niveau intermédiaire), les enfants déficients

visuels développent une exploration plus spécifique au traitement de la forme et diversifiée. Ils utilisent plus la PE *suivi de contour*, $F(2,58) = 6.4$, $p < .01$, moins la PE *pince*, $F(2,58) = 3.03$, $p = .05$, et mettent en œuvre un nombre plus important de procédures, $F(2,58) = 8.73$, $p < .001$. Un test post hoc LSD de Fisher montre une différence significative entre débutants et intermédiaires/experts pour les PE *suivi de contour* et *pince* ainsi que pour le nombre de PE utilisées, $p_s < .05$.

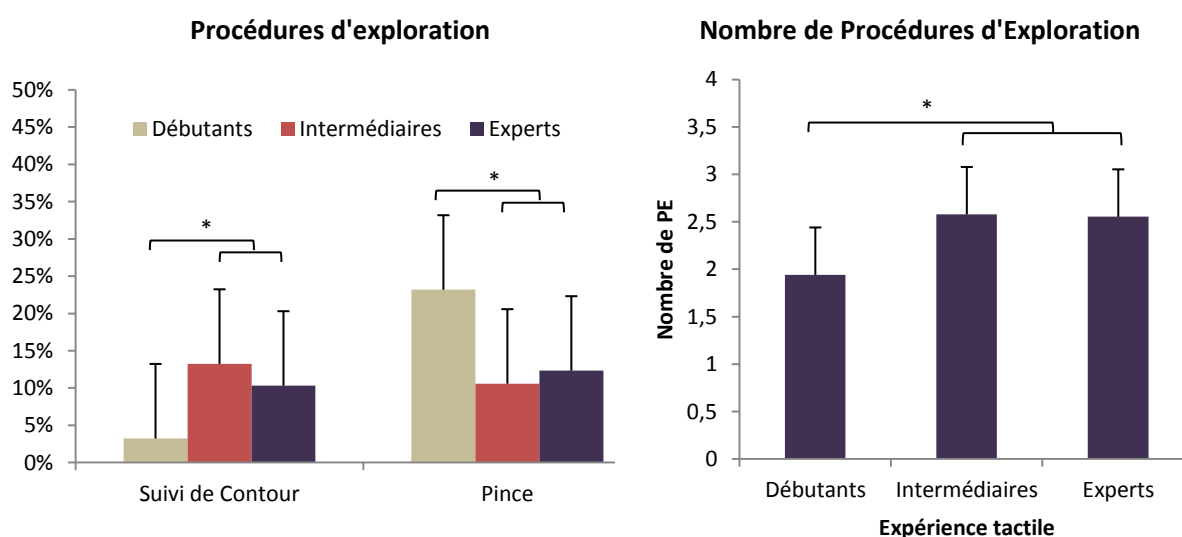


Figure 26 Pourcentages d'utilisation des PE *suivi de contour* et *pince*, et nombre de procédures d'exploration en fonction du degré d'expertise haptique.

4. DISCUSSION

Ce second chapitre s'intéresse à la manière dont les enfants utilisent leurs mains pour percevoir les éléments composant une image tactile. En effet, le champ perceptif tactile étant très réduit, une bonne perception découle en partie des mouvements exploratoires initiés par l'enfant (Heller cité par Revesz, 1950 ; Gibson 1962, 1966 ; Klatzky, Loomis, Lederman, Wake, Fujita, 1993). De même que pour les capacités d'identification, nous pensons que la qualité de ces stratégies d'exploration dépend notamment de l'expérience visuelle de l'enfant, de son âge et de son expertise tactile.

Comment définir une exploration haptique de qualité ?

D'après les études déjà menées sur le sujet (Russier, 1999 ; Wijntjes, Lienen, & al., 2008, Lederman & Klatzky, 1987), une exploration haptique de qualité serait une exploration bimanuelle, organisée (avec une appréhension d'abord globale de l'objet puis locale), ce qui implique des mouvements variés (spécifiques à la perception de la globalité mais également spécifiques à la perception des détails). Dans le cas des images tactiles multi-matières, deux dimensions sont à traiter : la forme et la texture. D'après la classification de Lederman et Klatzky (1987), les PE les plus appropriées seraient donc, pour l'appréhension globale, le *balayage*, également spécifique pour traiter la texture et, pour la perception locale, le *suivi de contour*, particulièrement indiqué pour traiter la forme de l'objet.

Afin de clairement identifier les connexions entre manières d'explorer et bonne compréhension tactile, nous avons analysé quelles stratégies d'exploration étaient liées aux performances de reconnaissance exposées dans le premier chapitre. La première conclusion à l'issue de cette analyse est qu'une exploration efficace en termes de processus de reconnaissance diffère selon le degré du handicap visuel et la présence de l'histoire. En effet, chez *les enfants DV*, lorsque les explorations sont guidées par l'histoire, la bonne compréhension tactile des images est liée à une exploration globale associant l'utilisation des deux mains et la combinaison équilibrée de plusieurs procédures d'exploration. En l'absence de guidage sémantique, une bonne compréhension de l'image tactile est une nouvelle fois favorisée par une exploration globale bimanuelle, mais structurée par une utilisation symétrique des mains. On note l'importance d'une exploration bimanuelle dans la compréhension sémantique des éléments explorés, et ce indépendamment du guidage sémantique. Rappelons que l'exploration bimanuelle est considérée par de nombreux auteurs comme étant le mode d'exploration le plus efficace pour appréhender des représentations 2D (Wijntjes, Lienen & al., 2008 ; Russier, 1999 ; Hatwell, 2003 ; Rovira & al., 2011). Notons également, que lorsque l'histoire n'accompagne pas les explorations, il est important pour les enfants DV que les mouvements soient structurés (exploration symétrique).

Chez *les enfants voyants*, les liens entre stratégies d'exploration et compréhension de l'image tactile sont différents.

Lorsque les explorations sont guidées par l'histoire, les enfants voyants qui ont une bonne compréhension sémantique des éléments tactiles utilisent préférentiellement le *suivi de contour*. A l'inverse des enfants déficients visuels qui mettent en place une exploration plus globale en présence de l'histoire, les enfants voyants développent une exploration plus

spécifique centrée sur la forme de l'élément et pas sur l'ensemble de la page. Ils partent de l'indice sémantique pour appréhender la forme de l'objet tactile, alors que les enfants déficients visuels traitent indices sémantiques et indices tactiles en parallèle. On retrouve ici une nouvelle illustration des modèles de traitement de l'information haptique de Klatzky et Lederman (1987). Les enfants voyants traitent l'information haptique par médiatisation visuelle. Ils se servent de l'indice sémantique pour activer la représentation visuelle de l'objet qu'ils ont en mémoire, et ils mettent en œuvre des mouvements d'exploration qui vont leur permettre de traiter la forme de cet objet, de manière à comparer la forme perçue sous leurs doigts et la représentation visuelle qu'ils ont activée. Ce travail de comparaison nécessite un traitement détaillé de la forme, d'où l'utilisation du *suivi de contour*. L'information sémantique semble diriger l'information perceptive chez les enfants voyants. Chez les enfants déficients visuels, cela se passe différemment. Il semble plutôt que l'information sémantique soit au service de l'information perceptive. L'information sémantique contextualise, amorce l'exploration et permet aux enfants DV d'économiser leurs mouvements. Une exploration globale suffit à traiter les éléments de l'image tactile pour qu'ils soient reconnus.

Lorsque l'histoire ne guide pas les explorations, on retrouve l'importance d'une exploration symétrique dans la compréhension tactile pour les enfants voyants, à l'instar de ce que l'on a observé chez les enfants déficients visuels. La symétrie des mains lors de l'exploration, témoin d'une bonne structuration de l'exploration, semble particulièrement décisive lorsque la découverte de l'image tactile n'est pas contextualisée par des indices sémantiques. De même, l'utilisation du *suivi de contour* semble caractéristique des enfants voyants lorsque les explorations ne sont pas guidées par l'histoire. Cependant, en l'absence d'indices sémantiques, l'utilisation prégnante de cette procédure d'exploration est liée à des reconnaissances plausibles. Il semble donc que le *suivi de contour*, s'il n'est pas associé à des indices sémantiques, ne soit pas suffisant en termes de prélèvement d'informations haptiques pertinentes pour activer la représentation visuelle de l'objet exploré. Dans le même sens, chez les enfants déficients visuels, le *suivi de contour* favorise les erreurs sémantiques en condition sans histoire. Rappelons que le *suivi de contour* est une PE séquentielle. Elle est donc particulièrement coûteuse d'un point de vue cognitif en ce qui concerne l'intégration des informations haptiques traitées.

Le guidage sémantique comme le statut visuel, ont donc un effet sur le lien entre stratégies d'exploration utilisées et bonne compréhension des images explorées.

Cet effet est-il directement observable sur les stratégies manuelles mises en œuvre pour explorer une image ?

Etonnamment, à l'inverse de ce que nous avons supposé, la présence de l'histoire n'impacte pas de manière directe la qualité des explorations. Nous nous attendions à ce que l'aide apportée par l'histoire structure la manière d'explorer, en poussant notamment les enfants à parcourir l'image en utilisant leurs deux mains. Or il n'en est rien, et ce, quel que soit le statut visuel des enfants. Le guidage sémantique ne modifie pas la partie « action » de l'exploration, mais il semble plutôt qu'il ait un impact sur la partie « cognition ». Avec l'histoire, les enfants ne vont pas mouvoir leurs mains différemment ; par contre, le traitement de l'information qu'ils ont récoltée au travers de ces actions d'exploration apparaît facilité par le guidage sémantique.

De même, contrairement à ce que nous attendions, le statut visuel n'influe pas la proportion d'utilisation des différentes PE. Aveugles, malvoyants et voyants utilisent préférentiellement le *balayage* pour explorer les images tactiles et boudent le *contact statique*. Ne pas recourir au *contact statique* est plutôt positif, car selon la littérature, c'est effectivement la PE la moins adaptée à la perception de l'image tactile du fait de son caractère passif (Vinter et al., 2012). En revanche, le *balayage* (ou *frottement latéral*) est une PE dynamique qui est spécialisée dans le traitement de la texture (Lederman & Klatzky, 1987). Son utilisation prégnante est le signe d'un niveau de traitement perceptif global. Il serait intéressant de pousser encore plus loin les analyses pour observer à quel moment de l'exploration ce niveau de traitement global intervient. Est-ce plutôt en début ou en fin d'exploration ? Un traitement perceptif global en début d'exploration permettrait un meilleur stockage de l'information en mémoire (Portalier, 1996).

Si le statut visuel n'a pas d'effet sur le type de mouvements mis en œuvre, il a un effet sur le nombre de mains que les enfants utilisent pour explorer les images tactiles. Ainsi, conformément à nos attentes, les enfants déficients visuels utilisent leurs mains de manière plus efficace que les enfants voyants : ils préfèrent une exploration bimanuelle variée alors que les enfants voyants ne manifestent aucune préférence sur ce plan. Ces observations répliquent les résultats d'une précédente étude de Vinter (Vinter et al., 2012), qui met en avant la qualité des explorations haptiques des enfants DV comparativement aux explorations d'enfants voyants dans une tâche d'exploration d'objets bidimensionnels. Lorsque l'on entre un peu plus dans le détail, on observe que ce sont les enfants malvoyants qui ont plus recours aux explorations bimanuelles symétriques variées. Nous nous attendions à cet « avantage »

des enfants malvoyants dans la qualité des explorations, car si l'on se base sur les travaux de Millar (Millar, 1994 ; Millar & Al-Attar, 2002, 2004), la perception lumineuse dont bénéficient les enfants malvoyants leur permet d'adopter une posture plus adaptée à l'exploration bimanuelle symétrique.

Concernant l'effet de l'âge sur la qualité des explorations haptiques, ce dernier reste ténu, ce qui est certainement en partie induit par l'adaptation de la complexité des planches à l'âge des enfants dans notre expérience. Nous observons cependant qu'enfants aveugles et malvoyants déploient différemment leurs explorations en grandissant. Ainsi, les enfants aveugles passent d'une exploration restreinte, limitée au champ perceptif d'une main, à une exploration plus efficace et ordonnée, faisant appel aux deux mains qui effectuent des mouvements symétriques. Les enfants malvoyants semblent mettre en place ce type d'exploration bimanuelle symétrique plus jeunes. Puis, avec l'âge, ils développent des modes d'exploration plus flexibles ayant recours à la fois à l'exploration unimanuelle et à l'exploration bimanuelle. De plus, nous constatons que l'âge impacte peu les PE mises en œuvre. Toutefois, la capacité des enfants voyants à développer une exploration spécifique au traitement de la forme des éléments explorés ne cesse d'augmenter entre 3 et 12 ans. Cette observation rejoint les observations faites par Piaget et Inhelder (1947) qui mettent en avant l'immaturité des explorations tactiles jusqu'à l'âge de 5 ans chez les enfants voyants. Chez les enfants DV, ce n'est pas l'âge qui influence le développement de l'utilisation de spécialisées dans le traitement de la forme, mais le degré d'expertise haptique. En effet, plus les enfants déficients visuels acquièrent un degré d'expertise haptique élevé, plus ils développent une exploration bimanuelle spécifique au traitement de la forme et diversifiée. Cet effet du degré de l'expertise haptique rejoint les conclusions d'autres travaux menés sur la perception haptique, tels que Richard, Vaz-Cerniglia et Portalier (2004) qui ont montré que l'entraînement permettait à des sujets voyants de mettre en œuvre des procédures d'exploration plus pertinentes dans une tâche de reconnaissance de figures géométriques, ou Withagen, Kappers, Vervloedb, Knoors et Verhoeven (2012) qui ont observé qu'avec la pratique, des adultes et des enfants aveugles précoces comme voyants amélioraient leurs comportements exploratoires dans une tâche d'appariement haptique d'objets non familiers.

Nous venons de voir que les spécificités du sujet (degré du handicap visuel, âge, degré d'expertise haptique) comme la présence de l'histoire n'influencent que modérément la manière d'explorer une image tactile. Il ressort surtout qu'une bonne reconnaissance de

l'image explorée est liée à une exploration plutôt bimanuelle et diversifiée, et que ces aspects de l'exploration se retrouvent particulièrement chez les enfants malvoyants et experts.

Ces observations ne nous permettent pas clairement d'identifier si les stratégies d'exploration utilisées par les enfants peuvent expliquer leurs difficultés de compréhension des images tactiles. La littérature met l'accent sur le fait que les difficultés de perception tactile présentées par les enfants semblent être la conséquence de l'immaturité de leurs stratégies d'exploration haptique (Piaget & Inhelder, 1947 ; Abravanel, 1968 ; Berger & Hatwell, 1995 ; Berlà, 1972 ; 1974 ; 1981 ; Berlà & Murr, 1972). Or, si l'on sait que les explorations des jeunes enfants sont incomplètes et inadaptées, nous ne savons pas en quoi elles sont incomplètes. Ces travaux de recherche se sont attachés à analyser les procédures exploratoires en se basant uniquement sur l'exploration de la figure ou de l'objet à identifier. Nous proposons donc une nouvelle fenêtre d'analyse de ces d'explorations, basée sur la manière dont l'espace et le temps sont appréhendés par les mains de l'enfant.

Ce troisième chapitre présente une manière différente d'étudier les explorations haptiques des enfants qui découvrent une image tactile. Afin d'accéder à une compréhension plus fine des explorations déployées par les enfants nous avons analysé comment elles se déroulent dans le temps et dans l'espace de l'image. Plus que des comportements tactiles ponctuels face à un stimulus, c'est la dynamique d'exploration dans sa globalité que nous souhaitons étudier. Nos interrogations sont nombreuses : comment s'opère le premier contact avec l'image ? Quelle est la trajectoire des mains au fil de la découverte de l'image ? En quoi les explorations sont incomplètes : quelles parties d'une image sont explorées, lesquelles ne le sont pas ? Pour apporter des réponses et accéder aux spécificités spatio-temporelles des procédures d'explorations, nous avons analysé le comportement tactile des enfants qui ont participé à notre étude princeps à l'aide d'un logiciel d'analyse automatisée des déplacements des doigts sur un support tactile nommé *Explore*. Notre objectif ici est de comprendre le langage des mains des enfants déficients visuels sur l'espace proche.

1. L'EXPLORATION DE L'IMAGE TACTILE, LE TEMPS ET L'ESPACE

A notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée directement aux dimensions spatio-temporelles des explorations haptiques lors de la découverte d'une image tactile. Cependant, un certain nombre de travaux se sont penchés sur la question de la perception tactile de l'espace chez les enfants aveugles, alors que d'autres ont indirectement observé des effets de la temporalité des explorations sur la perception haptique.

1.1. LA PERCEPTION DE L'ESPACE PROCHE

Des travaux menés chez les adultes étudient le codage spatial en modalité haptique en fonction de la présence d'un handicap visuel (Rosseti & Régner, 1995 ; Rossetti, Gaunet & Thinus-Blanc, 1996 ; Rossetti & Pisella, 2002 ; Gaunet & Rossetti, 2006). Ces études utilisent le même paradigme : une tâche de pointage. Il est demandé aux sujets d'indiquer avec une main la position d'un point cible qu'ils ont préalablement mémorisé. La phase de mémorisation peut être visuelle ou haptique. La dispersion des réponses, c'est-à-dire des différents pointages manuels, est ensuite étudiée. C'est cette dispersion qui rend compte du type de codage spatial utilisé. Si le pointage est basé sur la trajectoire du mouvement, le cadre

de référence dépend alors de la position de l'observateur et il est qualifié d'égo-centré. Si le pointage est basé sur les arrangements spatiaux des cibles, le cadre de référence utilisé est alors centré sur l'objet, c'est-à-dire allo-centré. Les auteurs ont fait varier le délai entre la phase de mémorisation et la phase test. Il en résulte que les adultes voyants ont une approche spatiale mixte des objets dans l'espace proche, que la mémorisation du point cible soit visuelle (Rossetti 1998 ; Rossetti & Pisella, 2002) ou haptique (Rossetti & Régnier, 1995). Lorsque le pointage manuel survient immédiatement après la phase de mémorisation, ils construisent une représentation égo-centrée de la cible. Cette représentation est précise mais transitoire, elle permet d'encoder la position des objets. Lorsqu'un délai est introduit entre la mémorisation et le pointage, les sujets adoptent une représentation allo-centrée de la position des objets dans l'espace proche, elle est plus durable mais peut se révéler imprécise si l'environnement change. Elle gagnera en précision avec l'expérience (Waller & Hodgson, 2006 ; Burgess, 2006).

Ce « shift » entre codage égo-centré et codage allo-centré se retrouve chez les adultes aveugles tardifs (Rossetti, Gaunet, & Thinus-Blanc, 1996 ; Gaunet & Rossetti, 2006). En revanche, il est absent chez les adultes aveugles précoces (Gaunet & Rossetti, 2006 ; Rossetti et al., 1996). En effet, les sujets aveugles précoces, contrairement aux sujets voyants et aux sujets aveugles tardifs, font recours exclusivement à un cadre de référence égo-centré pour percevoir des objets dans l'espace de préhension. La capacité à passer d'un cadre de référence égo-centré à un cadre de référence allo-centré dépend donc de l'expérience visuelle.

Une telle perception de l'espace proche n'a pu être mise en évidence avec ce paradigme chez les enfants aveugles ou voyants (Ittyerah, Gaunet, & Rossetti, 2007). La tâche de pointage ne semble pas adaptée pour évaluer l'utilisation de cadres de référence spatiaux chez les enfants, car elle implique des capacités de mémorisations à long terme de l'espace haptique encore trop immatures chez les plus jeunes. Cependant, d'autres auteurs ont utilisé des tâches plus épurées pour étudier la perception tactile de l'espace chez les enfants (Hermelin & O'Connor, 1971 ; Millar, 1975) et proposent des conclusions similaires à celles précédentes. Les enfants aveugles précoces ont tendance à percevoir l'espace de manière égo-centrée. Ils prennent comme cadre de référence leur propre corps et en particulier le mouvement de leurs mains. Les enfants voyants, quant à eux, ont plus tendance à élaborer une perception allo-centrée. Ils sont centrés sur l'objet, indépendamment de la position de leur corps ou des mouvements d'exploration effectués.

Ce recours à un cadre de référence égo-centré chez les enfants aveugles s'explique par la nature même des modalités perceptives dominantes. La modalité haptique est une modalité de

contact qui n'inclut pas de prise d'informations dans un champ périphérique à l'inverse de la vision (Hatwell, 2003).

En accord avec la littérature, nous nous attendons à ce que les enfants aient une exploration plus égocentrée avec la sévérité du handicap visuel. Nous pensons de plus qu'avec l'âge, ainsi qu'avec le degré d'expertise haptique, la capacité à déployer les explorations va se développer. De même, le guidage sémantique devrait faciliter une approche spatiale de l'image tactile centrée sur l'objet. En outre, le cadre de référence choisi peut avoir un effet sur les mouvements des explorations d'une part et sur la compréhension de l'image tactile d'autre part. Nous allons essayer d'en déterminer la mesure.

2.1. TEMPORALITE DES EXPLORATIONS

Concernant la dimension temporelle des explorations, un certain nombre de travaux ont souligné un effet du temps d'exploration sur les performances de perception haptique. Tous ne tirent pas des conclusions similaires et deux types d'observations s'affrontent.

La première est qu'une exploration qui dure longtemps impacte négativement la perception haptique, car le temps accentue le traitement cognitif coûteux des informations. Dans ce sens, Lederman et al. (1987) montrent que les distorsions perceptives haptiques importantes sont favorisées par un temps d'exploration long. De même, Fagot, Lacreuse et Vauclair (1994) observent, dans une tâche d'associations tactiles, que des adultes voyants explorant sans voir commettent plus d'erreurs lorsque le temps d'exploration est long, alors que le nombre d'associations correctes augmente si ce temps diminue. Withagen, Kappers, Vervloedb, Knoors, et Verhoeven (2012) montrent que les bonnes performances d'adultes aveugles dans une tâche d'appariement d'objets non familiers sur la base de la forme sont à mettre en lien avec le temps d'exécution des PE spécifiques au traitement de la forme. En effet, les adultes aveugles exécutent le *suivi de contour* et l'*enveloppement* plus rapidement que les adultes voyants. Enfin, dans une étude d'identification d'images en relief d'objets usuels, Picard et al. (2014) mettent en évidence que les enfants déficients visuels ont de meilleures performances que les enfants voyants et qu'ils sont plus rapides (14 s contre 26s en moyenne).

La seconde observation à propos de l'effet du temps d'exploration sur la qualité de la perception haptique est qu'au contraire, un temps d'exploration plus long améliore l'encodage de la forme globale. Ainsi, Vinter et al. (2012) remarquent que les enfants aveugles qui participent à leur étude sur la compréhension de formes géométriques ont une meilleure perception des patterns bidimensionnels lorsque les temps d'explorations sont plus longs. Par

contre, aucun effet du temps d'exploration n'est observé chez leurs pairs voyants et malvoyants. Ces résultats trouvent une interprétation à travers les modèles par médiation visuelle et d'appréhension haptique directe de Lederman et Klatzky (1987). Les enfants voyants, voire même les enfants malvoyants, traduisent l'information haptique séquentielle collectée en images visuelles, alors que les enfants aveugles utilisent des mécanismes de traitement qui sont directement disponibles dans le système haptique. Le temps d'exploration a alors un impact positif uniquement dans le cas de l'appréhension haptique directe, étant donné que lorsque les informations haptiques sont traduites en images visuelles, les erreurs et les difficultés peuvent survenir à n'importe quel moment de l'exploration. Ces observations vont dans le sens d'autres travaux qui révèlent qu'un temps d'exploration plus long améliore l'encodage de la forme globale (Berger & Hatwell, 1993 ; Lakatos & Marks, 1999).

Le temps constitue ainsi une variable qui a un impact sur la qualité de la perception haptique, mais la littérature est discordante relativement à l'orientation de cet impact. Nous souhaitons apporter de nouvelles observations afin de clarifier l'impact du temps d'exploration sur les mouvements exploratoires et la compréhension des images tactiles. De plus, nous évaluerons l'influence des spécificités propres aux enfants (degré de handicap visuel, âge, expertise haptique) et du guidage sémantique sur la temporalité des explorations.

2. METHODE

Rappelons que la méthode appliquée pour obtenir les résultats présentés dans ce troisième chapitre est similaire à celle détaillée dans le premier chapitre (sujets, matériel, procédure, voir p. 53).

Les données spatio-temporelles ont été obtenues grâce à un logiciel spécifiquement créé pour étudier les explorations tactiles. Nous allons donc présenter ce logiciel, nommé *Explore*. Puis nous apporterons quelques précisions concernant le choix du matériel et les conditions de passations inhérentes aux contraintes imposées par une utilisation optimale de ce logiciel.

3.1 *EXPLORE* : ANALYSER CE QUE « VOIENT » LE BOUT DES DOIGTS

Explore est un logiciel créé pour les besoins d'un projet auquel nous avons participé : le projet IMADOI¹¹. Ce logiciel a été édité par une société implantée sur le site de l'université de Bourgogne, la société *Eyenetics*.

¹¹ Le projet *IMADOI*, *des images au bout des doigts*, a été mené dans le cadre du programme Enfants et Enfance 2009 de l'ANR.

Explore permet de traiter des séquences vidéo d'explorations d'images en relief et calcule des statistiques concernant les touchers des doigts lors du déplacement d'une main dans le champ fixe d'une caméra. La détection du mouvement de la main est basée sur un traitement des pixels de la séquence. *Explore* détermine ainsi pour chaque image de la séquence si un pixel appartient aux bouts des doigts ou au fond de l'image et quels sont les pixels qui correspondent aux doigts en contact avec le support. Pour arriver à cette analyse, il faut réaliser une segmentation avant-plan (mains qui se déplacent sur l'image) / arrière plan (image tactile). Cette segmentation est basée sur une modélisation de l'arrière-plan. Les séquences d'exploration que nous filmons offrant un champ fixe, le logiciel prend la première image de la vidéo (lorsque le sujet n'a pas encore commencé à explorer) comme arrière-plan modélisé. Toutes les images de la séquence qui suivent sont ensuite comparées à l'image de référence (voir Figure 27). Ainsi, pour chaque pixel des images de la séquence, *Explore* calcule la distance avec le même pixel de l'image modèle. Si cette distance est importante, le pixel est attribué à la main.

La comparaison image par image permet donc à *Explore* de situer les mains à tout moment sur une image tactile. La prise de vues s'effectuant exclusivement du dessus, il n'est pas possible de savoir si les mains touchent effectivement l'image tactile. Puisque le but est l'exploration d'une image tactile, il est admis que le bout des doigts touche toujours l'image. Cependant, cette impossibilité de déterminer le contact effectif des doigts sur l'image tactile reste une de principales limites du logiciel qu'il faudrait améliorer dans une version ultérieure.

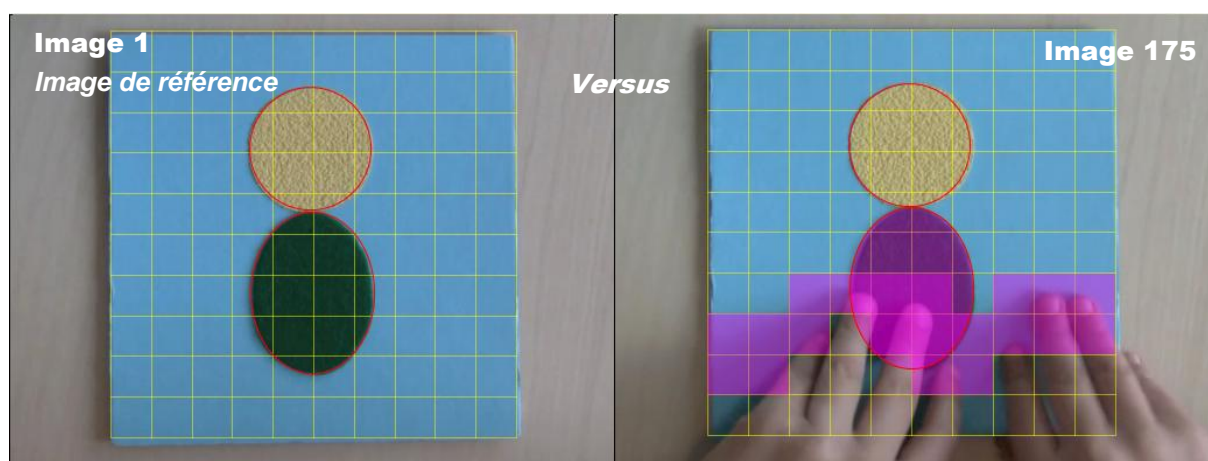


Figure 27. Image 1 d'une vidéo (=image de référence) à laquelle seront comparées les autres images de cette vidéo (ici image 175).

L'analyse spatio-temporelle des explorations s'effectue à partir de la définition de zones d'intérêt. Le logiciel possède deux outils pour déterminer ces zones de détection : le quadrillage et les formes personnalisées. La figure 28 permet de visualiser la manière dont le logiciel procède. Le *quadrillage* consiste à superposer sur l'image une grille quadrillée de manière plus ou moins fine. Il est ainsi possible de délimiter des zones spatiales sur l'image (comme le haut, le bas, la gauche, la droite) et de quantifier le nombre de fois que les mains ont touché ces zones. Le quadrillage permet également d'obtenir une carte de densité des touches, qui modélise la quantité de touches sur l'image au cours d'une exploration : plus la zone est touchée, plus elle est claire, et inversement, moins elle est touchée, plus elle est sombre. Ce type d'approche permet une analyse globale, géométrique, des explorations sur l'ensemble de l'image. Les *formes personnalisées*, quant à elles, consistent à retracer les différentes parties en relief de l'image, de manière à étudier le moment et la fréquence à laquelle elles ont été touchées. Cette approche offre une analyse plus locale.

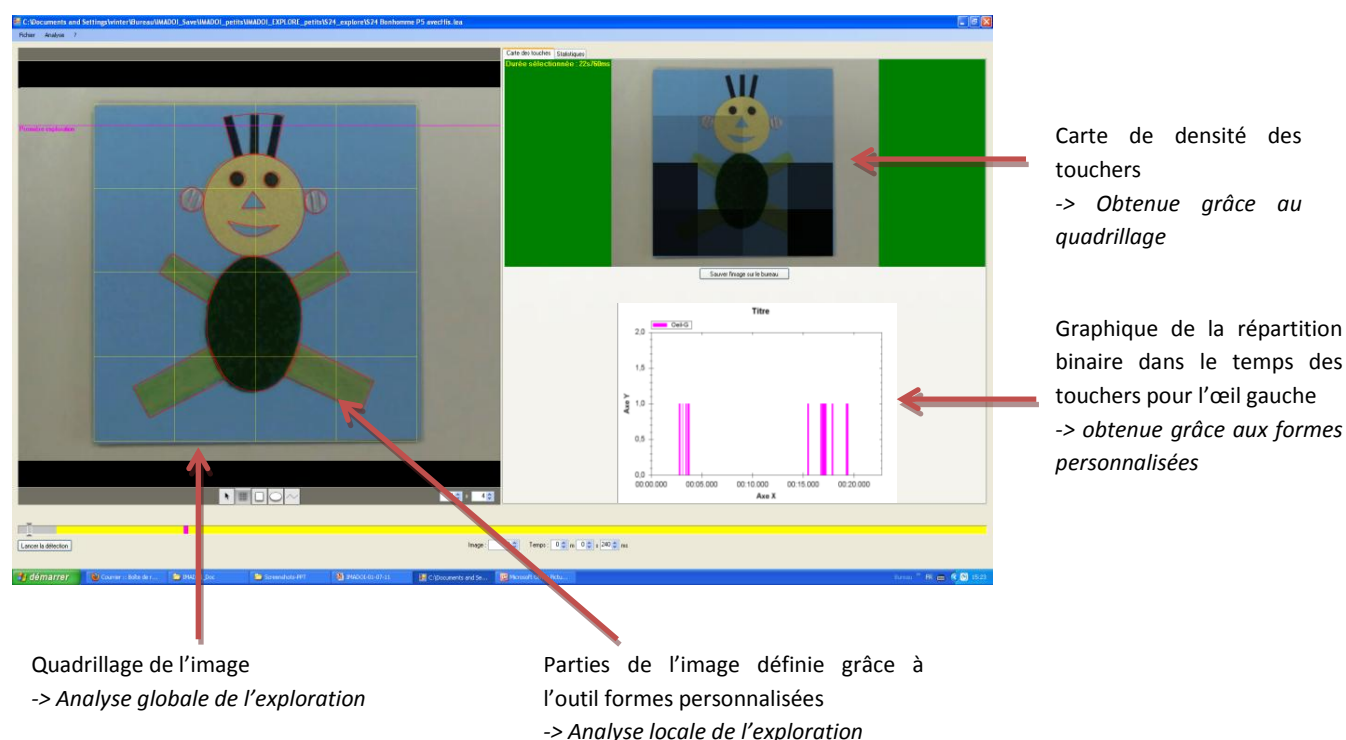


Figure 28. Illustration de l'interface et des différentes fonctionnalités du logiciel Explore

Pour chaque image constituant une séquence vidéo, *Explore* indique si une zone d'intérêt définie par l'expérimentateur a été touchée ou non. *Explore* traite les séquences à 10 images par seconde. Ainsi une vidéo de 10 secondes comptera 100 images donc un maximum de 100 touches enregistrés pour une zone. Il en résulte des données binaires pour chaque

image et pour chaque zone définie : 0 si la zone n'est pas touchée, 1 si elle l'est (voir Figure 29).

Temps	Images	Nb de touches par item	
		Corps	Tête
0:0.0	1	0	0
0:0.40	2	1	0
0:0.240	3	1	0
0:0.320	4	1	1

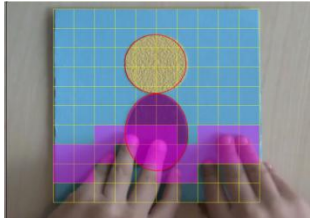


Figure 29 Exemple de données (nombre de touches) obtenues par *Explore* pour une image représentant le corps et la tête d'un bonhomme.

Les explorations filmées ne sont pas limitées dans le temps. Les vidéos peuvent donc aller de 20 secondes pour les plus courtes à 2 minutes pour les plus longues. Le début de la séquence commence 2 secondes avant que les mains n'apparaissent sur l'image, afin qu'*Explore* puisse modéliser l'arrière-plan et elle se termine lorsqu'il n'y a plus de mouvements d'exploration.

Le logiciel *Explore* est un outil d'analyse des données qui peut apporter des informations d'une grande richesse et d'une grande diversité. D'une certaine façon, *Explore* va nous permettre d'étudier ce que « voit » le bout des doigts qui découvrent une image tactile.

3.2 CONTRAINTES METHODOLOGIQUES INHERENTES AU LOGICIEL

Pour identifier l'arrière-plan d'une image, la technique la plus répandue est d'utiliser un fond vert ou bleu sur lequel se détache l'avant plan. Cette méthode est d'ailleurs utilisée pour la présentation de la météo à la télévision. Dans le cas des vidéos que nous avons réalisées, l'avant plan est constitué de mains d'enfants, et l'arrière-plan d'images tactiles. Ces images ne sont évidemment pas monochromes. Or, il est impossible d'identifier un arrière-plan constitué de plusieurs couleurs, d'autant plus que nous avons utilisé un grand nombre d'images. Nous venons de voir que la solution trouvée par l'éditeur du logiciel, est d'utiliser la première image des vidéos comme référence. De cette manière, le système gagne en flexibilité puisque n'importe quelle image peut servir d'arrière-plan. Cependant, il existe un certain nombre de contraintes et de consignes à respecter afin d'obtenir le meilleur résultat possible.

Afin de pouvoir comparer toute la séquence filmée à la première image, il est impératif que le dispositif (image tactile/caméra) ne subisse pas de mouvement. Le champ de la caméra est donc limité à une table, vue de dessus, sur laquelle est disposée l'image tactile qui est aimantée à un support métallique fixé à la table. La caméra est vissée sur un trépied qui permet de filmer la scène d'exploration en vue de dessus (cf. Figure 30). Il est également indispensable de filmer quelques secondes l'image tactile avant que l'enfant ne se mette à explorer pour obtenir l'image de référence qui permettra de modéliser l'arrière plan,



Figure 30. Dispositif expérimental : caméra sur trépied filmant l'image aimantée sur un support métallique.

Pour garantir la qualité d'image nécessaire à *Explore* pour analyser les séquences vidéo, il est préférable que la caméra utilisée soit haute définition. De plus, il faut être attentif aux conditions lumineuses qui ne doivent pas changer (l'éclairage doit rester uniforme). Enfin, pour obtenir le meilleur contraste possible entre les mains et le fond, l'arrière-plan doit éviter au maximum les couleurs à dominante rouge. Nous avons donc adapté les images tactiles utilisées pour l'expérience de sorte qu'elles ne contiennent aucune couleur rouge ou contenant du rouge (orange, violet). Rappelons que les images que nous avons utilisées sont toutes extraites de livres édités par la maison d'édition LDQR. Elles ont cependant été retravaillées au niveau de la couleur, comme le montre la figure Figure 31.



Figure 31. Illustration des modifications de couleurs appliquées aux images pour optimiser les fonctionnalités du logiciel *Explore*.

3.3 VARIABLES SPATIO-TEMPORELLES DE L'EXPLORATION HAPTIQUE

Grâce au logiciel *Explore*, quatre *variables spatio-temporelles* de l'exploration haptique ont été extraites : une variable temporelle et trois variables spatiales.

- **Le temps d'exploration** : correspond au temps d'exploration moyen en secondes pour une image.
- Le **nombre moyen de touches** : correspond au nombre moyen de touches par unité de surface (cm^2) pour l'exploration d'une planche. Une grande surface ayant plus de probabilité d'être touchée qu'une petite surface, le nombre de touches a été rapporté à la surface de l'élément exploré en cm^2 . Nous obtenons ainsi comme unité de mesure un nombre de touches par cm^2
- **L'exploration de la partie supérieure de l'image** (voir Figure 32): correspond au pourcentage moyen de touches localisées dans la partie supérieure de l'image. Cette variable est liée à la question de la nature égocentrée ou allocentrée de l'orientation de l'enfant dans l'espace : tend-t-il à déployer ses explorations sur l'image (partie supérieure de l'image) ou cantonne-t-il ses explorations plutôt dans la surface proche du corps (partie inférieure de l'image) ?
- **L'amplitude verticale de la première exploration** (voir Figure 32) : correspond à la hauteur en cm de la main sur l'image lors du premier contact d'exploration. Cette

variable est également liée à l'orientation spatiale des explorations, et en constitue une autre mesure centrée sur le tout premier contact avec l'image.

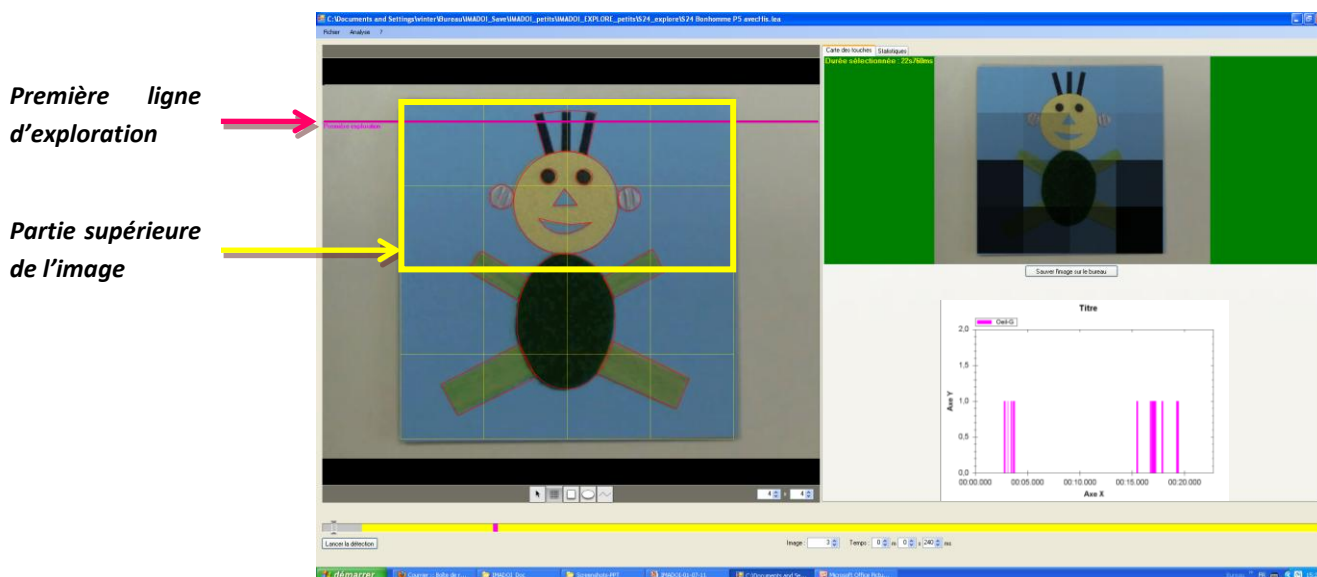


Figure 32. Illustration des variables *exploration de la partie supérieure de l'image* et *Amplitude verticale de la première exploration* sur l'interface d'Explore.

3. RESULTATS

Les données concernant la spatio-temporalité des explorations des *enfants déficients visuels* ont été étudiées à l'aide d'ANOVAs avec, comme facteurs intersujets, le statut visuel (2 groupes : aveugles versus malvoyants), le guidage sémantique (2 conditions : avec histoire, sans histoire), et le degré d'expertise tactile (3 niveaux : débutant, intermédiaire, expert). Lorsqu'un effet du statut visuel apparaît, montrant une différence entre aveugles et malvoyants, une ANOVA avec le facteur OMS (3 catégories) à la place du facteur statut visuel a été conduite. Le facteur âge a été traité comme dans le chapitre précédent. Nous rappelons que pour ne pas introduire des facteurs confondus liés à l'adaptation des images en fonction de l'âge (taille de l'image et thème), les analyses statistiques n'ont pas été menées sur les quatre groupes d'âges. Les groupes d'âge ont été comparés deux à deux, en gardant constant les séries d'images explorées: les 3-6 ans versus les 6-8 ans et les 8-10 ans versus les 10-12 ans. Les mêmes types d'analyses ont été menés pour le groupe *d'enfants voyants*, avec le guidage sémantique et l'âge comme facteurs intersujets. Quand nécessaire, des tests t de Student ont été réalisés pour comparer les performances des enfants voyants avec celles des enfants aveugles ou malvoyants. Par ailleurs, le lien entre les aspects spatio-temporels des

explorations haptiques et les performances de reconnaissances a été étudié à l'aide de corrélations de Pearson.

Nous rapporterons les résultats en examinant un à un les effets des facteurs d'intérêt pour notre expérience, à savoir le statut visuel, puis le guidage sémantique, l'expertise tactile et enfin l'âge. Les effets potentiels d'interaction entre variables ont été introduits progressivement, à chaque nouvelle variable et relativement à celle(s) traitée(s) juste auparavant. Mais avant d'analyser l'influence de ces facteurs d'intérêt sur la spatio-temporalité des explorations, examinons les liens qui unissent temps et orientation spatiale des explorations avec les performances de reconnaissances d'une part et les PE mises en œuvre d'autre part.

3.1. ASPECTS SPATIO-TEMPORELS ET RECONNAISSANCES

Pour commencer, étudions les liens entre les aspects spatio-temporels des explorations haptiques et la compréhension des images tactiles explorées qu'il en résulte. Ces analyses sont à nouveau basées sur des corrélations de Pearson effectuées sur les données des enfants déficients visuels d'une part et des enfants voyants d'autre part. Chaque groupe a été divisé en deux sous-groupes en fonction de la présence ou de l'absence du guidage sémantique, facteur qui, on l'a vu, affecte fortement la qualité des reconnaissances par l'enfant.

Les Tableau 15 (avec guidage) et le Tableau 16 (sans guidage) résument les résultats pour les enfants déficients visuels.

Tableau 15. Corrélations entre les différents aspects spatio-temporels des explorations haptiques et les types de reconnaissances chez les enfants déficients visuels en condition AVEC guidage sémantique (corrélations significatives marquées à $p < .05$).

	DEFICIENTS VISUELS – Avec guidage sémantique						
	Correctes sém.	Correctes géo.	Correctes tex.	Incorrectes sém.	Incorrectes géo.	Incorrectes tex.	Incorrectes
Temps d'exploration	-.57*	.08	-.04	.37*	.11	.22	.40*
Quantité de touches	-.62*	.47*	-.07	.50*	.31*	.03	.38*
Exploration partie supérieure de l'image	.04	.17	.10	-.17	-.16	-.09	-.08
Amplitude 1 ^{ère} exploration	.07	.40*	-.18	-.08	.03	-.15	-.07

Tableau 16. Corrélations entre les différents aspects spatio-temporels des explorations haptiques et les types de reconnaissances chez les enfants déficients visuels en condition SANS guidage sémantique (corrélations significatives marquées à $p < .05$).

	DEFICIENTS VISUELS – Sans guidage sémantique						
	Correctes sém.	Correctes géo.	Correctes tex.	Incorrectes sém.	Incorrectes géo.	Incorrectes tex.	Incorrectes
Temps d'exploration	-.55*	.18	.20	.14	.22	.16	.45*
Quantité de touches	-.37*	.28*	.42*	-.07	.26*	.34*	.08
Exploration partie supérieure de l'image	.38*	.39*	.07	-.34*	-.14	-.09	-.38*
Amplitude 1 ^{ère} exploration	.25*	-.13	.06	-.26*	.05	.15	-.40*

Les résultats obtenus montrent qu'une exploration longue, qui maximalise le toucher en termes de quantité, n'est pas liée à de bonnes performances de reconnaissance, et qu'au contraire ce genre de comportement exploratoire est en lien avec une compréhension erronée de l'image tactile. En effet, les corrélations mettent en évidence que le nombre de reconnaissances sémantiques varient dans le sens opposé au temps d'exploration d'une part, au nombre moyen de touches d'autre part. Cette observation est valable dans la condition histoire ($r = -.57, p < .05$ pour le temps, $r = -.62, p < .05$ pour la quantité de touches), comme dans la condition sans histoire ($r = -.55, p < .05$, pour le temps, $r = -.37, p < .05$, pour la quantité de touches). En cohérence, on retrouve une corrélation positive entre le temps moyen d'exploration et les reconnaissances incorrectes, que l'histoire soit présente ($r = .40, p < .05$), ou non ($r = .45, p < .05$). Le lien entre quantité de touches et reconnaissances incorrectes semble plus subtil. En effet, la corrélation n'est significative que lorsque les explorations tactiles sont guidées par l'histoire ($r = .38, p < .05$).

Nous observons de plus, qu'avec ou sans guidage sémantique, le nombre moyen de touches par cm² est corrélé positivement avec les reconnaissances de type géométriques qu'elles soient correctes ($r = .47, p < .05$ avec guidage et $r = .28, p < .05$ sans guidage) ou incorrectes ($r = .31, p < .05$ avec guidage et $r = .26, p < .05$ sans guidage). La quantité de touches est enfin liée de manière positive aux reconnaissances de type texture (correctes, $r = .42, p < .05$ et incorrectes, $r = .34, p < .05$), mais uniquement lorsque l'histoire n'accompagne pas les explorations.

En ce qui concerne l'investissement du haut de l'image (exploration de la partie supérieure et amplitude verticale de la première exploration), il est intéressant de relever qu'il est lié avec les reconnaissances de type sémantique, mais seulement dans les situations où les enfants ne sont pas aiguillés par le guidage sémantique. Ainsi, les reconnaissances sémantiques correctes augmentent lorsque l'exploration de la partie supérieure de l'image et l'amplitude de la première exploration augmentent (respectivement, $r = .38, p < .05$ et $r = .25, p < .05$). Congrument, lorsque les enfants déficients visuels investissent moins le haut de l'image, les reconnaissances incorrectes sémantiques augmentent ($r = -.34, p < .05$ pour l'exploration de la partie supérieure de l'image, $r = -.26, p < .05$ pour l'amplitude de la 1^{ère} exploration).

Examinons maintenant les résultats des *enfants voyants*, avec les Tableau 17 (avec guidage) et Tableau 18 (sans guidage). Le profil de corrélations des enfants voyants est beaucoup moins riche que celui des enfants déficients visuels. Le type de reconnaissances et les aspects spatio-temporels des explorations haptiques des enfants du groupe contrôle sont en effet très peu liés. Comme le montre le Tableau 17, aucune corrélation significative ne ressort lorsque le guidage accompagne les explorations. Sans le guidage sémantique (cf. Tableau 18), le nombre de touches par cm² est corrélé positivement avec les reconnaissances incorrectes géométriques ($r = .32, p < .05$). Enfin, l'investissement de la partie supérieure de l'image est corrélé négativement aux reconnaissances de type géométrique, correctes comme incorrectes (respectivement $r = -.43, p < .05$ et $r = -.49, p < .05$).

Tableau 17. Corrélations entre les différents aspects spatio-temporels des explorations haptiques et les types de reconnaissances chez les enfants voyants en condition AVEC guidage sémantique (corrélations significatives marquées à $p < .05$).

	VOYANTS – Avec guidage sémantique						
	Correctes sém.	Correctes géo.	Correctes tex.	Incorrectes sém.	Incorrectes géo.	Incorrectes tex.	Incorrectes
Temps d'exploration	-.03	.19	.11	-.05	.06	-.12	-.09
Quantité de touches	.00	-.17	.12	.08	-.12	-.13	-.13
Exploration partie supérieure de l'image	-.08	-.09	.23	.09	.00	.08	.01
Amplitude 1 ^{ère} exploration	-.03	-.14	.01	-.04	.03	-.06	-.12

Tableau 18. Corrélations entre les différents aspects spatio-temporels des explorations haptiques et les types de reconnaissances chez les enfants voyants en condition SANS guidage sémantique (corrélations significatives marquées à $p < .05$).

	VOYANTS – Sans guidage sémantique						
	Correctes sém.	Correctes géo.	Correctes tex.	Incorrectes sém.	Incorrectes géo.	Incorrectes tex.	Incorrectes
Temps d'exploration	-.09	-.01	.07	-.12	-.23	-.10	-.20
Quantité de touches	.26	.01	-.13	.01	.32*	-.12	-.02
Exploration partie supérieure de l'image	-.07	-.43*	-.02	.11	-.49*	.09	.13
Amplitude 1 ^{ère} exploration	-.15	-.11	-.14	.24	-.06	-.13	.07

3.2. ASPECTS SPATIO-TEMPORELS ET MOUVEMENTS D'EXPLORATION

Intéressons-nous à présent aux liens entre les aspects spatio-temporels des explorations haptiques et les mouvements mis en œuvre par les enfants pour explorer les images tactiles. Ces analyses sont basées sur des corrélations de Pearson effectuées sur les données des enfants déficients visuels d'une part et des enfants voyants d'autre part. Etant donné l'absence d'effet du guidage sémantique sur les Procédures d'Explorations (PE) utilisées, nous n'avons pas fait de distinction en fonction des conditions avec/sans histoire.

Le Tableau 19 résume les résultats pour les *enfants déficients visuels*. Nous observons qu'une exploration de qualité associant mouvements bimanuels symétriques et utilisation variée des PE est corrélée négativement avec le temps d'exploration et la quantité de touches, $r_s > -.40$, $p_s < .05$. De plus, concernant l'utilisation spécifique des PE, chez les enfants DV, le *suivi de contour* est corrélé négativement à une exploration qui se déploie vers le haut de l'image (exocentrée), $r = -.25$, $p < .05$. En revanche, la PE *pression* est corrélée positivement avec une exploration centrée sur l'objet (exploration de la partie supérieure de l'image, $r = .50$, $p < .05$), tout comme l'utilisation symétrique des mains (exploration de la partie supérieure de l'image, $r = .31$, $p < .05$).

Tableau 19. Corrélations entre les différents aspects spatio-temporels des explorations haptiques et les comportements exploratoires chez les enfants déficients visuels (corrélations significatives marquées à $p < .05$).

	DEFICIENTS VISUELS									
	Bi manuelle	Mixte	Uni manuelle	Symétrie	Suivi de contour.	Pince.	Balayage	Pression	Contact statique	Nb de procédure
Temps d'exploration	-.47*	.46*	.19	-.44*	.06	.04	-.19	-.08	.22	-.09
Quantité de touches	-.46*	.36*	.36*	-.17	-.39*	.10	-.08	.36*	.02	-.41*
Exploration partie supérieure de l'image	.04	-.11	.11	.31*	-.25*	-.13	-.10	.50*	.01	-.23
Amplitude 1 ^{ère} exploration	.09	-.15	.07	.09	-.13	.07	-.03	.11	-.02	-.01

Les résultats des corrélations pour les *enfants voyants* sont présentés dans le Tableau 20. Nous ne retrouvons pas de liens significatifs entre les variables d'exploration et le temps d'exploration d'une part et la quantité de touches d'autre part chez ces enfants ($r_s > .20$, $p_s > .05$). L'utilisation des deux mains est toutefois corrélée négativement avec les variables témoignant d'une exploration exocentrée (exploration de la partie supérieure de l'image, $r = -.25$, $p < .05$, amplitude de la 1^{ère} exploration, $r = -.27$, $p < .05$), tout comme l'utilisation de la PE *pression* (exploration de la partie supérieure de l'image, $r = -.25$, $p < .05$). En revanche, la PE *balayage* est corrélée positivement avec une perception centrée sur l'objet (exploration de la partie supérieure de l'image, $r = .27$, $p < .05$).

Tableau 20. Corrélations entre les différents aspects spatio-temporels des explorations haptiques et les comportements exploratoires chez les enfants déficients voyants (corrélations significatives marquées à $p < .05$).

	VOYANTS									
	Bi manuelle	Mixte	Uni manuelle	Symétrie	Suivi de contour.	Pince.	Balayage	Pression	Contact statique	Nb de procédure
Temps d'exploration	.01	-.10	.06	.04	.04	.11	-.07	-.02	.22	-.03
Quantité de touches	-.03	-.12	.11	-.11	.04	.15	-.06	-.04	.02	-.12
Exploration partie supérieure de l'image	-.25*	-.03	.23	-.03	.18	-.14	.27*	-.25*	.01	.16
Amplitude 1 ^{ère} exploration	-.27*	.09	.16	-.22	.13	-.14	.22	-.19	-.02	.04

3.3. ASPECTS SPATIO-TEMPORELS ET STATUT VISUEL

Nos résultats révèlent un effet du statut visuel sur la variable temporelle et sur une des variables spatiales.

Concernant le *temps d'exploration*, comme l'illustre la Figure 33, les enfants aveugles mettent plus de temps pour explorer une image que leurs pairs malvoyants, $F(1,58) = 5.31, p < .05$, et voyants, $t(112) = 1.93, p < .05$. Nous observons en moyenne 54s pour explorer une planche chez les enfants aveugles contre 45s chez les enfants malvoyants et 47s chez les enfants voyants. Lorsque l'on affine cette observation à travers le prisme de la catégorie OMS, il apparaît que ce sont les enfants atteints du handicap visuel le plus sévère (catégorie 5) qui prennent le plus de temps pour explorer une image comparativement aux enfants relevant des catégories 3 et 4, $F(2,67) = 3.2, p < .05$.

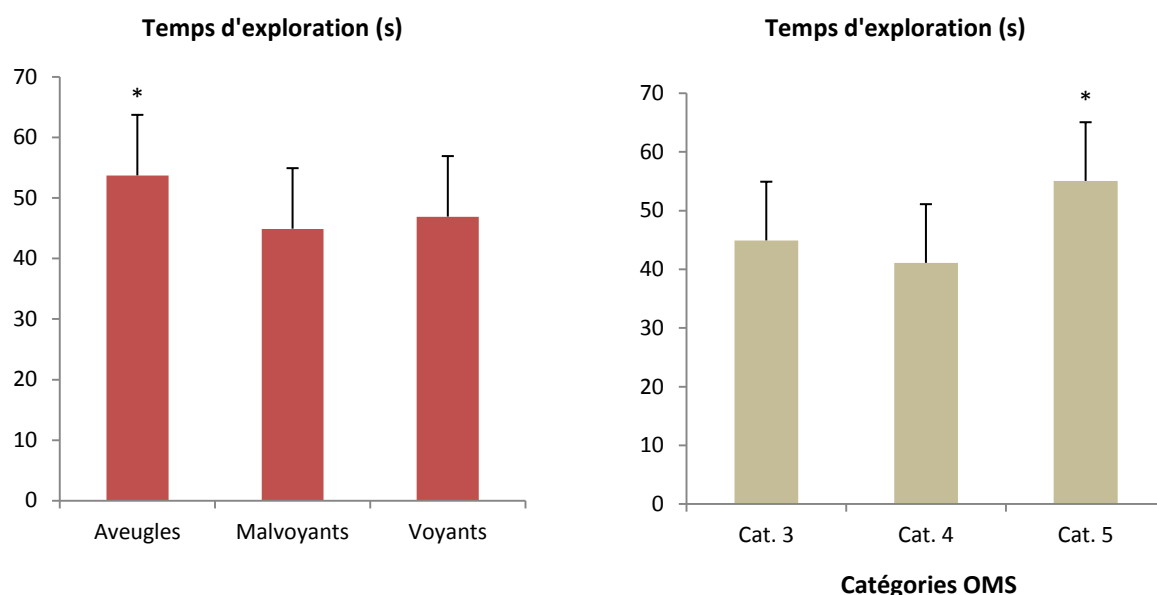


Figure 33. Temps d'exploration pour une planche (s) en fonction du statut visuel et de la catégorie OMS (moyennes et erreurs-types).

Pour ce qui est du domaine spatial, la Figure 34 met en évidence un effet significatif du statut visuel sur la *hauteur de la première exploration*. Contrairement à ce que nous attendions, les enfants voyants développent moins leurs explorations vers le haut lors de leur premier contact avec l'image que les enfants déficients visuels, $t_s > 2, p < .05$. Une moyenne de 8.7 cm est enregistrée pour les enfants déficients visuels contre 7.1 cm pour les enfants voyants.

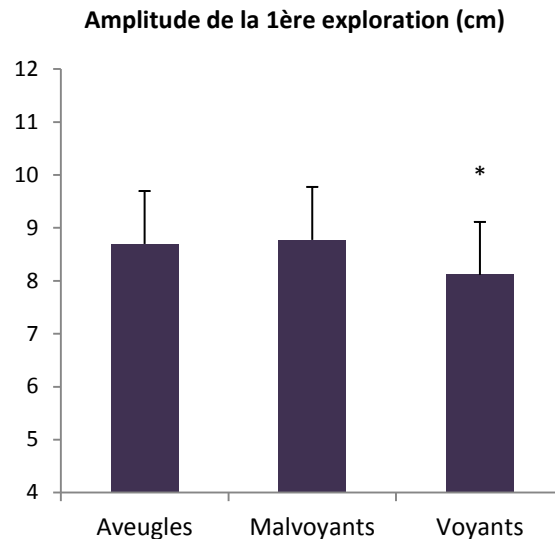


Figure 34. Amplitude de la 1^{ère} exploration (cm) en fonction du statut visuel et de la catégorie OMS (moyennes et erreurs-types).

Examinons maintenant l'effet du guidage sémantique sur la spatio-temporalité des explorations.

3.4. ASPECTS SPATIO-TEMPORELS ET GUIDAGE SEMANTIQUE

Le guidage sémantique a un impact sur une des variables spatiales uniquement chez les enfants DV. En effet, comme le montre la Figure 35, lorsque les explorations sont guidées par l'histoire, ces enfants déploient leurs mouvements exploratoires vers le haut de l'image de manière plus consistante qu'en absence de l'histoire.

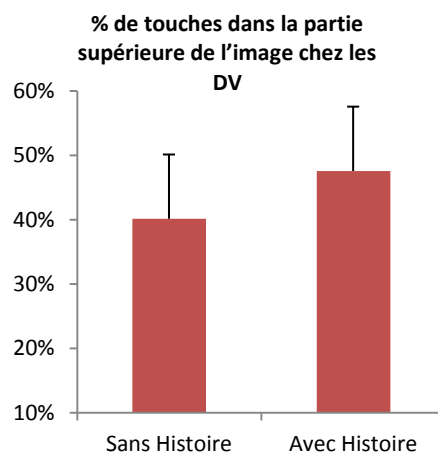


Figure 35. Exploration moyenne de la partie supérieure de l'image chez les enfants DV en fonction de la présence du guidage sémantique (pourcentages et erreurs-types).

De plus, une interaction significative entre guidage sémantique et statut visuel pour les enfants DV émerge, $F(1,58) = 12.77$, $p < .001$, ainsi que l'illustre la Figure 36.

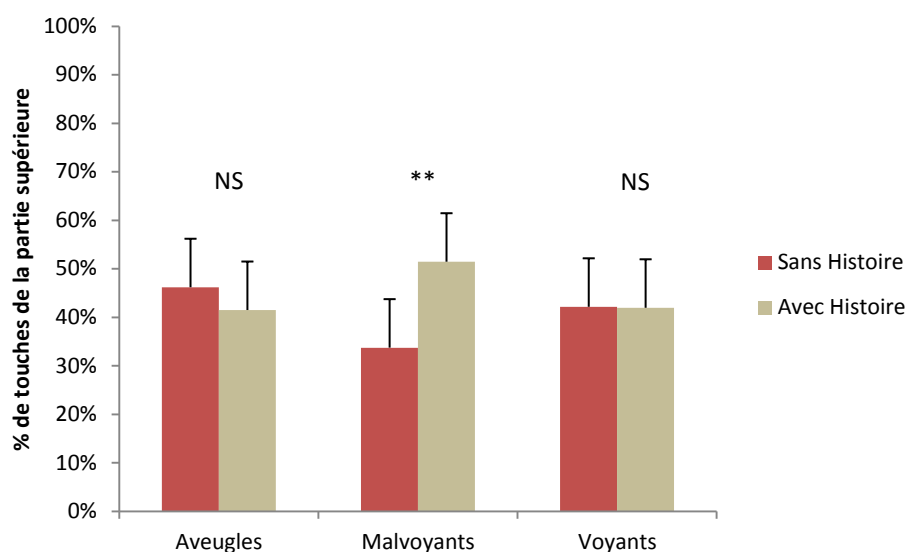


Figure 36. Exploration moyenne de la partie supérieure de l'image en fonction du statut visuel (pourcentages et erreurs-types).

En présence de l'histoire, ce sont les enfants malvoyants qui étendent davantage leurs mouvements exploratoires vers le haut de l'image. Ils passent d'une proportion de 34% d'exploration de la partie supérieure de l'image sans le guidage sémantique à 51% avec le guidage sémantique. Selon le test post hoc HSD de Tukey, cette différence est significative, $p < .01$. Chez les enfants aveugles en revanche, la présence de l'histoire ne pousse pas à modifier significativement l'amplitude des explorations. On observe même une légère tendance à une diminution de l'exploration de la partie supérieure de l'image chez les enfants aveugles, avec une exploration à hauteur de 46 % sans le guidage contre 41 % avec le guidage (mais cette différence n'est pas significative).

Pour ce qui concerne les enfants voyants, qu'il y ait guidage sémantique ou non, la proportion d'exploration de la partie supérieure de l'image reste la même, 42 % ($p > .60$).

3.5. ASPECTS SPATIO-TEMPORELS ET EXPERTISE HAPTIQUE

Les résultats révèlent un effet de l'expertise haptique sur une variable spatiale, le *nombre moyen de touches par cm²* mises en œuvre pour l'exploration d'une image, comme en témoigne la Figure 37.

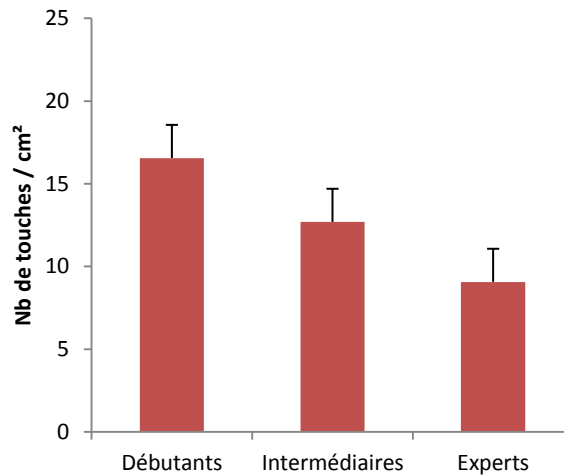


Figure 37. Nombre de touches par cm² en fonction l'expertise haptique (moyennes et erreurs-types).

Le *nombre moyen de touches* diminue de manière significative avec l'expertise haptique du sujet, $F(2,58) = 7.86, p < .001$. Des comparaisons a posteriori (HSD de Tukey) montrent que la diminution du nombre de touches par cm² est significative entre les enfants débutants et les enfants présentant un degré expert, $p < .001$. Notons de plus, toujours en ce qui concerne la quantité de touches, qu'une interaction significative apparaît entre le degré l'expertise haptique et le guidage sémantique, $F(2,58) = 3.48, p < .05$, comme l'illustre la Figure 38.

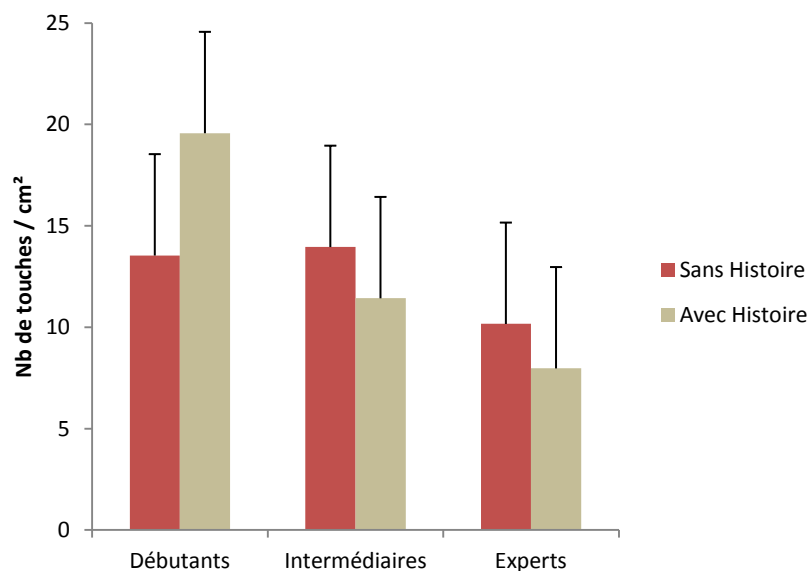


Figure 38. Nombre de touches par cm² en fonction du degré d'expertise haptique et du guidage sémantique (moyennes et erreurs-types).

Le guidage sémantique favorise la quantité de touches chez les enfants débutants : ils touchent plus l'image lorsque l'histoire accompagne leurs explorations que lorsque l'histoire n'est pas racontée au cours de l'exploration (LSD de Fisher, $p < .05$). Chez les enfants intermédiaires et experts, le guidage sémantique n'influence pas de manière significative le nombre de touches lors de l'exploration d'une image (LSD de Fisher, $p_s > .05$).

3.6. DEVELOPPEMENT DES ASPECTS SPATIO-TEMPORELS

Comme rappelé précédemment, les analyses statistiques concernant l'effet de l'âge sur les variables spatio-temporelles de l'exploration ont été conduites en comparant les groupes d'âge deux à deux : les 3-6 ans versus les 6-8 ans et les 8-10 ans versus les 10-12 ans. La Figure 39 présente les résultats. L'influence de l'âge sur ces variables s'avère très faible, ce qui à nouveau n'est pas étonnant étant donné le fait que nous avons adapté la situation expérimentale de façon à conserver le plus comparable possible la relation entre l'enfant et la planche explorée (en particulier ici, adaptation de la distance corps de l'enfant-planche en fonction de la taille de l'enfant, et donc de son âge).

En ce qui concerne *le temps d'exploration* et *le nombre de touches par cm²*, aucun effet significatif de l'âge n'est à relever chez les enfants DV comme chez les enfants voyants, $F_s < 1$. Le temps d'exploration oscille entre 42 et 60 secondes pour les enfants DV et 40 et 53 secondes pour les enfants voyants. Quant au nombre de touches, il varie entre 7 et 18 touches pour les enfants DV et 10 à 16 touches pour les enfants voyants.

La *proportion d'exploration de la partie supérieure* de l'image est impactée par l'âge, mais uniquement chez les enfants voyants à partir de 8 ans, $F(1,24) = 7.66$, $p < .01$. La Figure 39 indique, qu'entre 3 et 10 ans, la propension des enfants voyants à explorer la partie supérieure de l'image évolue peu (en moyenne, entre 37% et 43% des explorations). A partir de 10 ans, les enfants voyants déploient leurs explorations vers la partie supérieure de l'image de manière significative, 53% de leurs mouvements exploratoires s'y déroulant. Chez les enfants déficients visuels, les variations entre groupes d'âges ont un peu plus d'amplitude mais elles restent non significatives (en moyenne entre 39% et 50% chez les enfants aveugles, et entre 37 et 52 % chez les enfants malvoyants).

Enfin, *l'amplitude verticale de la première exploration* lors du contact initial avec l'image n'est pas influencée par l'âge chez les enfants déficients visuels, comme chez les voyants, $F_s < 1$.

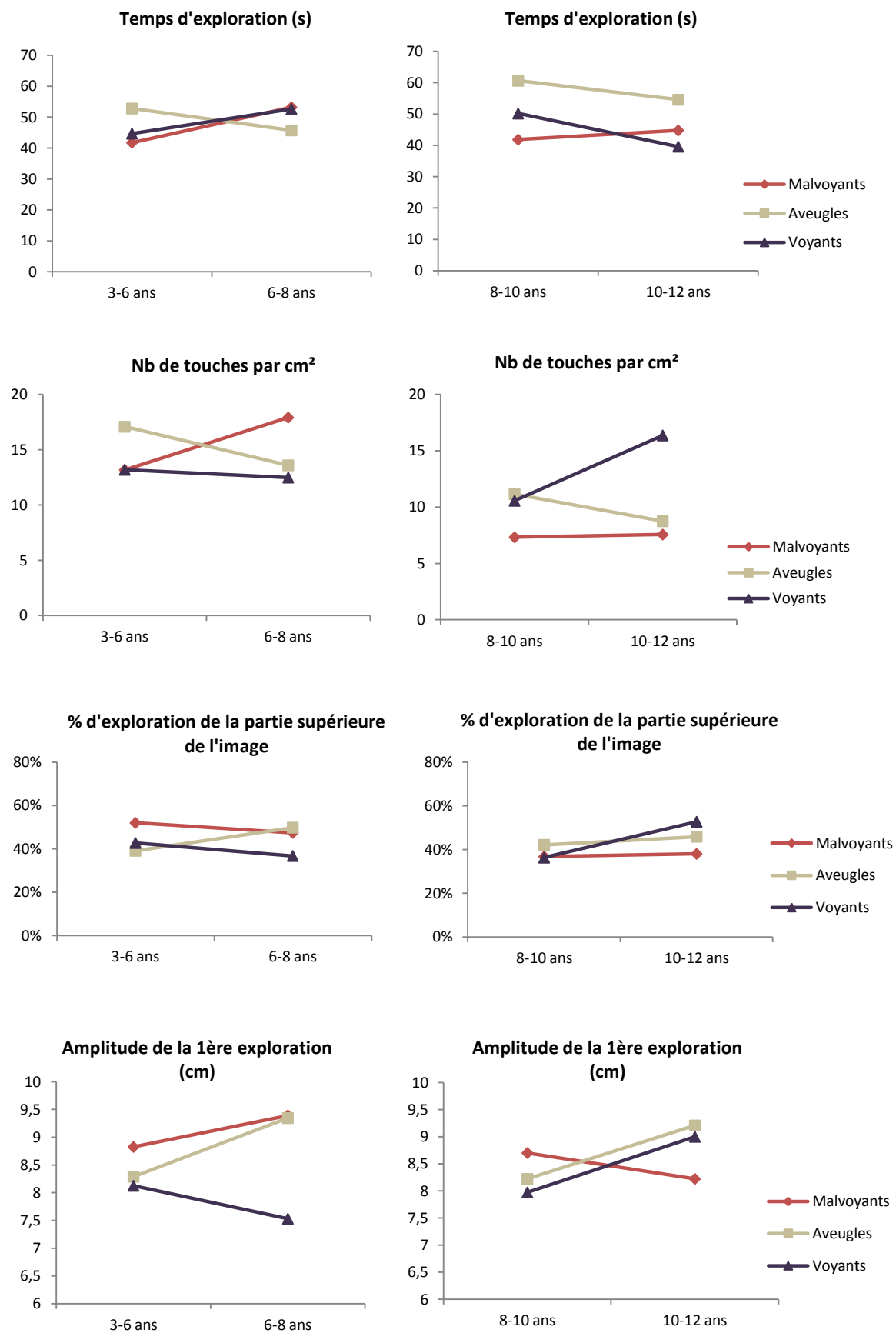


Figure 39. Moyennes des variables spatio-temporelles en fonction de l'âge et du statut visuel.

4. DISCUSSION

Dans ce chapitre qui clôture la première partie de la thèse, nous avons voulu aller plus loin dans la compréhension du langage des mains sur l'image tactile. Après avoir étudié les mouvements d'exploration, nous avons affiné notre approche en appréhendant les explorations dans le temps et dans l'espace de l'image tactile, à la manière dont les mouvements oculaires ont pu être étudiés lors de l'analyse de scènes visuelles. Nous avons observé les liens qui unissent cette dynamique spatio-temporelle avec les mouvements d'exploration d'une part et les performances de compréhension des images explorées d'autre part. Nous avons également analysé l'impact des spécificités de l'enfant (statut visuel, âge, expertise haptique) et du guidage sémantique sur ces dimensions spatio-temporelles des explorations.

L'analyse des aspects spatio-temporels de l'exploration va dans le sens d'un profil d'exploration très différent entre les enfants déficients visuels et les enfants voyants, comme nous l'avons déjà pressenti avec l'analyse des stratégies globales d'exploration. Il apparaît en effet que les explorations tactiles des enfants voyants présentent peu de spécificités spatio-temporelles, et que ces spécificités sont peu liées à leur compréhension des images explorées. Les principales observations concernant les enfants voyants sont tout d'abord que leur premier contact avec l'image tactile est plus timide que chez leurs pairs déficients visuels : ils montent moins « haut » dans l'image lors de la première exploration. Ensuite, ils développent leurs explorations d'un point de vue quantitatif comme qualitatif à partir de 10 ans, avec un nombre de touches et un investissement de la partie supérieure de l'image qui augmentent à partir de cet âge. Chez les enfants déficients visuels par contre, les aspects spatio-temporels des explorations sont stabilisés plus tôt, entre 6 et 8 ans. La littérature qui a étudié les cadres de référence spatiaux chez les enfants (Hermelin & O'Connor, 1971 ; Millar, 1975) a mis en avant que les enfants voyants sous occlusion visuelle avaient plus tendance à être centrés sur l'objet (perception allocentrée), alors que les enfants déficients visuels se réfèreraient à leur propre corps (perception égocentrée). Nos résultats vont à l'encontre de ces constatations. L'ancienneté de ces études peut être questionnée. Il semble en effet, comme nous en avons déjà fait part dans le premier chapitre, que l'évolution de l'accompagnement des enfants déficients visuels a permis à ses derniers de développer leurs compétences haptiques et d'appréhender l'espace de manière plus efficace.

Concentrons-nous maintenant sur les aspects spatio-temporels des explorations des *enfants déficients visuels*. Plus de résultats sont à discuter. Tout d'abord, nous observons un impact négatif du temps d'exploration sur la qualité de la perception haptique, ce qui va dans le sens d'études telles que Lederman et al. (1987), Fagot et al. (1994), Withagen et al. (2012), et Picard et al. (2014). Nous avons en effet mis en évidence qu'une exploration qui dure dans le temps et qui présente une quantité importante de touches n'est pas synonyme d'efficience et d'efficacité en terme de reconnaissances sémantiques des éléments bidimensionnels explorés. D'ailleurs, le nombre de touches est plus important chez les enfants déficients visuels âgés de moins de 8 ans et chez ceux qui ont un faible degré d'expérience haptique que chez les enfants plus âgés ou plus expérimentés. Or les enfants plus âgés et plus expérimentés obtiennent de meilleurs scores de reconnaissances sémantiques comparativement aux enfants jeunes et débutants du point de vue tactile. Il semble donc que si l'enfant ne reconnaît pas les éléments de l'image sous ses doigts dans les premières dizaines de secondes, l'augmentation du temps et de la quantité d'exploration ne l'aidera pas davantage. Il est même raisonnable de penser que plus l'exploration est longue et conséquente d'un point de vue quantitatif, plus le traitement cognitif des informations haptiques, qui est déjà défini comme coûteux par différents auteurs (Revesz, 1950 ; Warren, 1984 ; Hatwell, 2003), est lourd. La mémoire de travail surchargée ne parvient pas à intégrer les différentes informations perçues et l'accès à la représentation de l'objet en mémoire se fait donc difficilement.

Apportons tout de même quelques nuances à ces observations. En effet, nos résultats ont également démontré que les enfants les plus sévèrement atteints de cécité (catégorie 5 de l'OMS) prennent plus de temps pour explorer une image que leurs camarades malvoyants et voyants. Or ce temps supplémentaire ne semble pas lié à une mauvaise compréhension de l'image explorée, les enfants aveugles n'ayant pas de moins bonnes performances de reconnaissance que les enfants malvoyants et voyants (voir chapitre 1, p.67). On peut même faire l'hypothèse, à l'instar de Vinter et al (2012), qu'un temps d'exploration plus long peut être bénéfique au traitement de l'information haptique chez les sujets aveugles. En effet, ces derniers utilisent des mécanismes de traitement qui sont directement disponibles dans le système haptique (modèle de l'appréhension haptique direct, Lederman & Klatzky, 1987). La séquentialité du système haptique nécessite un travail d'intégration de l'information haptique pour accéder à la forme globale de l'objet, travail d'intégration qui demande du temps (Lakatos & Marks, 1999). Chez les enfants voyants, en revanche, voire même chez les enfants malvoyants dans une certaine mesure, les informations haptiques sont traduites en images visuelles (modèle de l'appréhension haptique par médiation visuelle, Lederman & Klatzky,

1987). Des interférences top-down avec les images visuelles peuvent donc survenir à n'importe quel moment de l'exploration. Ces interférences entre connaissances visuelles et informations perceptives haptiques peuvent être à l'origine d'hypothèses élaborées par l'enfant quant à l'identité de l'objet exploré. Dans le cas où l'hypothèse est valide, l'identification de l'objet représenté sur l'image tactile peut être très rapide. Toutefois, plus le temps d'exploration est long, plus le risque d'hypothèses erronées augmente, ce qui est potentiellement pénalisant pour la compréhension des images tactiles chez les enfants passant par la médiation visuelle.

En ce qui concerne la quantité de touches sur l'image, il a été mis en avant que chez les enfants DV, l'augmentation du nombre de touches est liée à un accroissement des erreurs sémantiques, mais uniquement lorsque l'exploration est guidée par l'histoire. Ceci amène à penser que la quantité de touches en présence de l'histoire et la quantité de touches en l'absence de l'histoire n'ont pas la même signification. Sans l'aide du guidage sémantique, l'enfant est amené à effectuer une exploration plus poussée, qui peut impliquer un nombre de touches plus important et qui n'aboutit pas forcément à plus d'erreurs de reconnaissances sémantiques. Avec le guidage sémantique, si l'exploration de l'enfant reste importante d'un point de vue quantitatif, c'est peut-être le signe que l'aide sémantique n'a pas permis de faire un lien pertinent entre cognition et perception afin d'accéder à la représentation exacte de l'objet exploré, d'où un risque accru de faire des erreurs de reconnaissances sémantiques. Nous pointons ici du doigt une potentielle ambivalence de l'aide apportée par le guidage sémantique, dans le sens où les processus top-down qu'il implique viennent nourrir l'imaginaire de l'enfant qui va aller chercher des réponses dans son répertoire de représentations en lien avec le champ sémantique défini par l'histoire. Mais ces représentations ne correspondent pas forcément aux perceptions issues de l'exploration de l'image tactile, ce qui entraîne des erreurs de reconnaissance. Pour illustrer ce propos, rappelons que les enfants qui présentent un degré d'expertise haptique débutant fournissent une quantité de touches plus importante en présence de l'histoire, mais que cet investissement en termes de quantité d'exploration se solde par de moins bonnes reconnaissances et plus d'erreurs sémantiques par rapport à leurs pairs intermédiaires ou experts.

La quantité d'exploration, chez les enfants déficients visuels, est également liée à la compréhension de l'objet bidimensionnel par la forme et par la texture. En effet, plus les enfants fournissent une quantité de touches importante, plus ils vont se référer au géométrique, que l'histoire accompagne les explorations ou non, et à la texture uniquement

lorsque les explorations ne bénéficient pas du guidage sémantique. On peut donc imaginer que lorsqu'une récupération rapide de la représentation en mémoire de l'objet bidimensionnel a échoué, les enfants mettent en place une stratégie de traitement de l'information afin d'accéder à cette représentation. Pour cela, ils passent par différents niveaux de traitement : le perceptif d'abord, en traitant la texture, accessible plus directement, puis la forme. L'aide amenée par le guidage sémantique permet de passer directement au traitement de la forme, d'où l'absence de lien entre reconnaissances de type texture et quantité de touches en présence de l'histoire.

Il apparaît de plus, chez les enfants déficients visuels, que lorsque l'exploration se déploie vers le haut de l'image tactile, la compréhension des éléments qui la composent est meilleure. Ce type d'exploration exocentrée permet une meilleure appréhension de l'ensemble des éléments de l'image. Le traitement de l'image est plus global, ce qui place l'enfant dans de meilleures conditions de reconnaissance. Cependant, ce lien entre bonne compréhension et amplitude de l'exploration n'est vrai que dans le cas où l'exploration n'est pas guidée par l'histoire. En effet, lorsque l'histoire contextualise les explorations, les enfants ont moins besoin de rechercher l'information tactile sur l'image. L'histoire donne des indications sémantiques, mais également des informations spatiales sur l'image explorée, ce qui permet aux enfants de se repérer plus rapidement dans l'espace de l'image et d'appréhender la globalité des éléments tactiles. Sans l'histoire, ils doivent aller rechercher l'information tactile de manière plus active, ce qui les pousse à effectuer des explorations plus ouvertes vers le haut de l'image.

PARTIE 2 :

COMPREHENSION DES IMAGES TACTILES ET CONTRAINTES LIEES A L'IMAGE EXPLOREE

La première partie de ce travail montre que cognition (processus permettant la reconnaissance de l'image) et action (caractéristiques de l'exploration) interagissent de manière subtile et sont influencées par les spécificités du sujet (degré de handicap visuel, niveau d'expertise haptique et âge chronologique). La seconde partie soulève la question de l'influence des caractéristiques propres aux images tactiles sur leur compréhension par les enfants.. Trois dimensions des images tactiles ont retenu notre attention : l'*orientation* de l'objet représenté de profil, sa *forme* et sa *texture*.

Afin d'étudier le rôle de ces facteurs « objet » dans la compréhension des images tactiles, nous avons conduit deux expériences, présentées dans les deux chapitres constituant cette deuxième partie. Le premier chapitre se focalise sur l'impact de l'orientation gauche-droite des objets 2D sur la compréhension des images tactiles. Le second chapitre est relatif à la prégnance de la forme et de la texture dans ces processus de compréhension.

Chapitre 1. INFLUENCE DE L'ORIENTATION SPATIALE DES ELEMENTS CONSTITUANT L'IMAGE

1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à l'impact de l'orientation spatiale gauche-droite des images tactiles sur leur compréhension. Notre réflexion à ce sujet est partie d'études qui ont été réalisées auprès de sujets voyants (adultes et enfants) sur les préférences de ce type d'orientation dans le dessin (Vaid, 1995 ; Kebbe & Vinter, 2013). Ces études ont montré que chez les sujets voyants, enfants comme adultes, il existe une préférence très marquée quant à l'orientation lorsque les objets sont reproduits de profil (la reproduction de profil est très commune dans le cas des illustrations graphiques : pensez à une image d'un chien, d'une voiture, d'un avion, etc, ces objets sont reproduits de profil en général). Cette préférence serait multi-déterminée et sensible à différents facteurs : d'une part, des facteurs endogènes comprenant la spécialisation hémisphérique (Alter, 1989 ; Dreman ; 1974) et les contraintes biomécaniques du mouvement en fonction de la main utilisée (Van Sommer, 1984 ; Taguchi & Noma, 2005), et d'autre part, des facteurs exogènes, à savoir les habitudes culturelles de lecture et d'écriture (Vaid, 1995 ; 2011 ; Vaid, Singh, Sakhuja, & Gupta, 2002 ; Kebbe & Vinter, 2013). Ainsi, les personnes de culture occidentale, qui lisent et écrivent de gauche à droite, ont une préférence pour des objets orientés vers la gauche. Ce biais directionnel est plus marqué chez les droitiers que chez les gauchers (Alter, 1989 ; Dreman, 1974 ; Shanon, 1979). Cette préférence se manifeste de plusieurs manières : les objets sont plus vite reconnus lorsqu'ils sont présentés dans la bonne orientation, ils sont plus souvent dessinés dans l'orientation privilégiée (Vaid, 1995, Kebbe & Vinter, 2013), ils sont jugés plus esthétiques également dans l'orientation préférée (Chokron & De Agostini, 2000 ; De Agostini, Kazandjian, Cavézian, Lellouch & Chokron, 2010, Nachlson, Argaman & Luria, 1999 ; Palmer, Gardner & Wickens, 2008).

Comment interpréter cette préférence ?

Lorsque qu'un sujet dessine un objet familier, la production graphique produite peut être considérée comme une manifestation de la représentation stockée en mémoire. En ce sens, Van Sommers (1984) avance l'idée selon laquelle les sujets qui dessinent des objets familiers se réfèrent à des schémas graphiques associés à leurs représentations mentales. Ces représentations mentales sont décrites comme des représentations canoniques (Freeman,

1980), dans le sens où elles contiennent les caractéristiques prototypiques qui permettent d'identifier correctement les objets. L'orientation spatiale constituerait une de ces caractéristiques et serait donc influencée par les différents facteurs neurophysiologiques, biomécaniques, culturels.

A partir de quel âge apparaissent ces préférences d'orientation gauche-droite chez les sujets voyants ?

Les études développementales sur le sujet ont montré que ces facteurs avaient peu d'impact chez les enfants jusqu'à l'âge de 8-10 ans. Ainsi, concernant l'impact de la dominance manuelle sur l'orientation des dessins produits, il est absent jusqu'à environ 10 ans et ce quelles que soient les habitudes de lecture et d'écriture (Kebbe & Vinter, 2013). Ce n'est en effet qu'à l'âge adulte que la dominance manuelle a un effet sur l'orientation des dessins (Braswell & Rosengren, 2002 ; Kebbe & Vinter, 2013). Braswell et Rosengren (2002) expliquent que durant l'enfance, les déterminants cognitifs exercent une influence plus forte que les déterminants biomécaniques, ce qui explique que la dominance manuelle n'ait pas d'impact sur l'orientation des dessins chez les enfants. Les enfants seraient moins flexibles que les adultes dans l'utilisation de leurs représentations mentales avec pour conséquence une portée minime des influences biomécaniques sur les procédures de dessin.

Pour ce qui est de l'effet culturel des habitudes de lecture et d'écriture, il ne se manifeste pas clairement avant l'âge de 8 ans (Kebbe & Vinter, 2013) ce qui suggère que l'effet du facteur culturel se manifeste une fois que les enfants sont entrés dans l'apprentissage de l'écriture et de la lecture et après un temps d'imprégnation de ces habitudes.

La principale question que nous posons est de savoir s'il existe une orientation spatiale « canonique » ou prototypique dans la représentation figurale d'un objet en modalité haptique ou si ce type de caractéristique est uniquement présent dans la modalité visuelle ? Si elle existe, alors nous pouvons imaginer que la compréhension des images tactiles sera facilitée par une orientation des objets représentés congruente avec l'orientation prototypique des représentations. A notre connaissance, aucune étude n'a travaillé sur ce sujet.

Retrouve t'on un biais de préférence d'orientation chez les enfants voyants qui explorent haptiquement une image tactile sous occlusion visuelle ?

Les résultats obtenus dans la première partie de cette thèse confortent l'idée avancée par Klatzky et Lederman (1987) selon laquelle le processus d'identification en modalité haptique chez les sujets voyants est médiatisé par une représentation visuelle. Ainsi, pour reconnaître une image tactile, sans apport d'informations visuelles, les enfants voyants semblent recoder les informations haptiques en une image visuelle afin d'accéder à la représentation de l'objet exploré. Nous imaginons que cette image visuelle possède une orientation spatiale prototypique, et que les enfants voyants explorant l'image tactile d'un objet familier sous occlusion visuelle devraient montrer de meilleures performances d'identification et une préférence pour cette orientation canonique. Sur la base de la littérature disponible à ce sujet, cet effet devrait être modulé par les habitudes culturelles de lecture et d'écriture des enfants (Vaid, 1995 ; 2011 ; Vaid et al., 2002 ; Kebbe & Vinter, 2013) et leur âge (Braswell & Rosengren, 2002 ; Kebbe & Vinter, 2013). Les enfants voyants qui ont participé à cette étude sont des enfants francophones de culture occidentale. Nous nous attendons donc à ce que leurs performances d'identifications soient facilitées par une orientation gauche des objets explorés, mais que cette préférence n'apparaisse qu'autour de l'âge de 8 ans.

Les enfants déficients visuels développent-ils également des orientations gauche-droite privilégiées ?

A notre connaissance, aucune étude ne s'est encore intéressée à la présence d'orientation spatiale privilégiée dans les représentations graphiques ou dans d'autres activités spatiales dans l'espace de préhension chez les enfants déficients visuels. Les enfants déficients visuels sont soumis aux mêmes facteurs que les enfants voyants. Ils apprennent à lire et à écrire le braille (qui se lit et s'écrit de gauche à droite dans les pays occidentaux) et la latéralisation manuelle semble similaire chez les enfants déficients visuels comparativement aux enfants voyants (Paoletti, 1993 ; Ittyerah, 1993, 2000). Si l'orientation spatiale prototypique dans la représentation figurale d'un objet familier n'est pas une spécificité de la modalité visuelle et se retrouve également dans la modalité haptique, alors nous nous attendons à ce que les enfants déficients visuels présentent également des facilités de compréhension et un biais de préférence lorsque les objets représentés sur les images tactiles sont orientés à gauche. Les enfants aveugles et sévèrement malvoyants débutent l'apprentissage du braille à l'âge de 5 ans. Un effet de l'âge similaire à celui relevé chez les enfants voyants devrait émerger, à savoir une préférence pour l'orientation gauche des objets représentés non présente avant l'âge de huit ans.

Nous nous posons également des questions sur l'effet de l'expertise haptique concernant cette orientation prototypique des représentations. Des études sur l'utilisation des mains chez les sujets déficients visuels brailistes ont montré qu'en fonction de l'expertise en braille, les mains n'étaient pas sollicitées de la même manière (Millar, 1987, 1997 ; Bertelson, Mousty, & D'Alimonte, 1985). Ainsi, chez les sujets débutants, la main gauche est plus performante pour discriminer des lettres, alors que chez les individus présentant un niveau d'expertise en lecture braille élevé, c'est la main droite qui est la plus performante (Millar, 1997). Il est également observé que chez les lecteurs les plus expérimentés, une lecture fluide est conditionnée par l'utilisation rapide des deux mains (Millar, 1987 ; Bertelson, Mousty, & D'Alimonte, 1985). Cette différence d'utilisation des mains chez les sujets experts aurait-elle un impact sur un biais éventuel d'orientation chez les enfants déficients visuels ? La performance accrue de la main droite accentuerait-elle le biais d'orientation gauche observé chez les voyants droitiers ? Ou à l'inverse, la capacité à utiliser en alternance ses deux mains de manière rapide et fluide pour percevoir les lettres brailles ne conduirait-elle pas à minimiser ce biais d'orientation ?

2. METHODE

2.1. SUJETS

Afin d'étudier l'impact de l'orientation gauche-droite sur la compréhension des images tactiles, un total de cinquante-cinq enfants âgés de 3 à 14 ans a été observé : vingt-sept enfants porteurs d'un handicap visuel et vingt-huit enfants voyants (groupe contrôle).

Parmi les enfants *déficients visuels*, dix-sept sont atteints de cécité précoce (acuité visuelle inférieure à 1/60^{ème} après correction, catégories 4 et 5 de l'OMS¹² et perte de la vue dans les deux premières années de vie). Les dix enfants restants sont atteints de malvoyance sévère (acuité visuelle comprise entre 1/20^{ème} et 1/60^{ème} après correction, catégorie 3 de l'OMS¹³). Aucun de ces enfants ne présente de troubles associés à la déficience visuelle (troubles praxiques et/ou cognitifs). Tous sont droitiers.

¹² Voir annexe 1 p. 239 pour plus de précisions sur les catégories OMS de la déficience visuelle

¹³ Ibid. p. 239

Pour rencontrer ces enfants, nous avons contacté la majorité des établissements qui ont participé à l'expérience présentée dans la première partie. Un établissement a rejoint ce nouveau projet d'expérimentation : le Centre pour Handicapés de la Vue, de Lausanne en Suisse. Le Tableau 21 liste les structures qui ont participé à cette seconde expérimentation et le nombre d'enfants rencontrés par structure. Les expérimentateurs (dont l'auteur de ce travail de thèse) se sont rendus au sein des établissements pour procéder aux observations auprès des enfants.

Tableau 21 Liste des établissements qui ont participé à la seconde expérimentation et nombre d'enfants par établissement.

Département ou pays	Ville	Nom de l'établissement	Nb d'enfants rencontrés
Allier	Yzeure	Institut des Jeunes Aveugles « Les Charmettes »	4
Haute Garonne	Toulouse	Institut des Jeunes Aveugles	2
	Ramonville Saint-Agne	Centre Lestrade	3
Loire Atlantique	Vertou	Institut des Hauts-Thébaudières	12
Lot	Cahors	Service Aide Soutien à l'Intégration	1
Morbihan	Auray	Service pour Jeunes Déficiants Visuels	2
Suisse	Lausanne	Centre pour Handicapés de la Vue	3

Concernant les enfants *voyants*, qui sont au nombre de vingt-huit, les mêmes écoles que celles utilisées lors de la première expérimentation ont été sollicitées : l'école maternelle Jean Jaurès à Lyon et l'école élémentaire Drapeau à Dijon. Aucun de ces enfants n'est atteint de troubles praxiques ou cognitifs, et ils ne présentent pas de retard ou d'avance au niveau des apprentissages scolaires. Comme les enfants déficients visuels, tous sont droitiers, leur langue maternelle est le français et ils évoluent dans un milieu socio-économique moyen.

Les passations se sont déroulées dans le respect de l'emploi du temps des enfants. Au préalable, les parents de chaque enfant ont signé la demande d'autorisation de participation à l'expérience¹⁴. La même fiche de renseignements que celle utilisée pour la première expérience a été remplie par les parents, et/ou par les enseignants¹⁵.

Les caractéristiques principales de l'échantillon d'enfants ayant participé à cette seconde expérience sont illustrées dans le Tableau 22.

¹⁴ Demande d'autorisation consultable en annexes p. 241

¹⁵ Fiche de renseignement consultable en annexes p. 242

Tableau 22 Caractéristiques des enfants ayant participé à l'étude sur l'influence de l'orientation des images tactiles sur leur compréhension (expérience 2).

	Groupe d'âge	Effectif	Age moyen (années ; mois) écart type (mois)	Sexe	Cat. OMS	Pratique braille	Pratique images tactiles	Expertise
Aveugles	3-6 ans	3	M=5 ; 4 6	1 fille 2 garçons	C4=1 C5=2	Nv.1 =2 Nv. 2 =0 Nv. 3 =1	Nv.1 = 1 Nv. 2 =1 Nv. 3 =1	2 débutants 1 intermédiaire 0 expert
	6-9 ans	4	M=7 ; 7 4	3 filles 1 garçon	C4=0 C5=4	Nv.1 =0 Nv. 2 =0 Nv. 3 =4	Nv.1 = 2 Nv. 2 =0 Nv. 3 =2	0 débutant 2 intermédiaires 2 experts
	9-12 ans	10	M=10 ; 9 8	5 filles 5 garçons	C4=4 C5=6	Nv.1 =0 Nv. 2 =2 Nv. 3 =8	Nv.1 = 6 Nv. 2 =1 Nv. 3 =3	0 débutant 6 intermédiaires 4 experts
Malvoyants	3-6 ans	2	M=4 ; 2 12	2 filles 0 garçon	C3=2	Nv.1 =1 Nv. 2 =0 Nv. 3 =1	Nv.1 = 1 Nv. 2 =0 Nv. 3 =2	1 débutant 0 intermédiaire 1 expert
	6-9 ans	3	M=7 ; 5 11	2 filles 1 garçon	C3=3	Nv.1 =0 Nv. 2 =0 Nv. 3 =3	Nv.1 = 2 Nv. 2 =1 Nv. 3 =0	0 débutant 2 intermédiaires 1 expert
	9-12 ans	5	M=10 ; 8 9	4 filles 1 garçon	C3=4	Nv.1 =0 Nv. 2 =0 Nv. 3 =5	Nv.1 = 2 Nv. 2 =0 Nv. 3 =3	0 débutant 2 intermédiaires 3 experts
Voyants	3-6 ans	6	M=4 ; 11 11	2 filles 4 garçons				
	6-9 ans	10	M=7 ; 1 8	7 filles 3 garçons				
	9-12 ans	12	M=10 ; 3 11	5 filles 7 garçons				

Les enfants déficients visuels comme voyants ont été répartis en fonction de leur âge dans trois groupes d'âges distincts (les 3-6 ans, les 6-9 ans, les 9-12 ans). Au sein de chacun de ces groupes, les enfants déficients visuels sont distingués selon leur degré d'expertise haptique (débutant, intermédiaire, expert), qui a été déterminé selon leur fréquence de lecture en braille et de manipulation d'images tactiles. Les groupes d'âges ont été construits de façon à équilibrer le mieux possible la répartition au niveau du sexe et du statut visuel (déficients visuels versus voyants), pour qu'aucune différence entre les groupes n'apparaisse à ce niveau. Par contre, ce même travail d'équilibrage des groupes n'a pas été possible pour les habitudes de lecture en braille et de manipulation d'images tactiles, variables grâce auxquelles nous avons construit la variable « expertise haptique ».

Les principales causes du handicap visuel des enfants qui ont pris part à cette étude sont détaillées dans le Tableau 23. Ainsi, l'amaurose de Leber ($n=8$) est la principale cause de la déficience visuelle chez les enfants aveugles (catégories 4 et 5 de l'OMS). Notons que les origines de la cécité restent multiples et indéterminées pour un certain nombre de ces enfants (catégorie 4 et 5, $n=7$). Concernant les enfants malvoyants (catégorie 3 de l'OMS), différentes pathologies sont à l'origine du déficit visuel, mais aucune ne se détache par le nombre de sujets qu'elle touche.

Tableau 23. Etiologies des déficiences visuelles selon les catégories OMS pour les enfants participant l'expérience 2.

Etiologies		Répartition selon catégories OMS (N)
Malformations oculaires	Microphthalmie	Catégorie 5=1
Pathologie des milieux transparents	Cataracte bilatérale congénitale	Catégorie 3=2
	Glaucome	Catégorie 3=1
Pathologie rétinienne		Catégorie 5=1
	Rétinopathie	Catégorie 3=1
		Catégorie 4=1
		Catégorie 5=1
	Rétinite pigmentaire	Catégorie 3=1
Atteintes du nerf optique	Déficit de la limbe	Catégorie 3=1
	Amaurose de Leber	Catégorie 4=4
		Catégorie 5=3
	Gliome sur le nerf optique	Catégorie 4=2
Pathologie génétique		Catégorie 3=1
Etiologie inconnue		Catégorie 5=1
		Catégorie 4=2
		Catégorie 5=4

2.2. MATERIEL



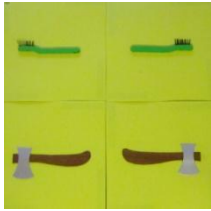
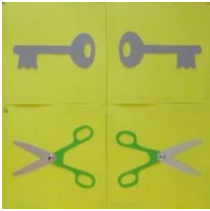
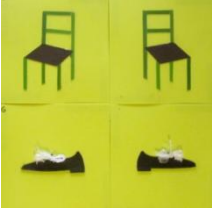
Pour les besoins de cette expérimentation, la maison d'édition Les Doigts Qui Rêvent a fabriqué un ensemble de vingt-quatre images (15 x 15 cm), sur lesquelles apparaissent des animaux et des objets du quotidien, représentés en 2D, en texture et de profil¹⁶. Ces images se divisent en deux séries et sont présentées dans le

Tableau 24 :

- une première série sur le thème des animaux (poisson, oiseau, chien, éléphant), soit quatre items représentés une fois orientés à gauche, une fois orientés à droite, donc un total de huit images.
- une seconde série sur le thème des objets de la vie quotidienne manipulables, subdivisée en quatre catégories de deux items en fonction de leur mode de préhension : objets avec une anse (arrosoir, tasse), objets avec un manche (brosse à dent, hache), objets avec un côté de préhension spécifique (clé, ciseaux), objets présentant une préhension neutre (chaise, chaussure), soit huit items représentés une fois orientés à gauche, une fois orientés à droite, donc un total de seize images.

¹⁶ Ces images tactiles ont été extraites de livres tactiles illustrés édités par la maison d'édition Les Doigts Qui Rêvent, ou créées pour les besoins de cette étude.

Tableau 24. Illustrations des 24 images tactiles présentées aux enfants.

Animaux	Objets préhensibles du quotidien			
	Anse	Manche	Spécifiques	Neutres
				

Les orientations sont définies sur la base de la partie « active » de l'objet. Pour les animaux, la partie active correspond à la tête. Si l'animal regarde à gauche, il est dit orienté gauche, s'il regarde à droite, il est dit orienté droite. Pour les objets préhensibles, la partie active coïncide avec la partie qui agit : le pommeau de l'arrosoir, le corps de la tasse, la lame de la hache, le barillet de la clé, etc. Si la partie qui « agit » est à gauche, l'objet est orienté à gauche, si elle est située à droite, l'objet est orienté à droite.

Le dispositif expérimental est le même que celui utilisé pour la première étude (voir PARTIE 1 - Chapitre 1, 2.Méthode, 2.2. Matériel, p.57).

2.3. PROCEDURE

Cette expérimentation se déroule en deux phases. Lors d'une première phase de « *reconnaissance* », on présente une à une les images à l'enfant sans aucun indice, et il doit les reconnaître. Lors d'une seconde phase de « *préférence* », on présente les deux orientations de l'objet à l'enfant en lui disant ce que l'image représente, et en lui demandant de dire l'orientation qu'il préfère. Les tâches de reconnaissance, qui plus est, sans indices sémantiques, sont particulièrement difficiles à réussir. Elles sont connues dans la littérature pour leurs résultats relativement faibles (Klatzky, Chataway, & Summers, 1990 ; Magee & Kennedy, 1980 ; Kennedy & Fox, 1977). C'est pour cette raison que nous avons fait le choix

de doubler la tâche de reconnaissance d'une tâche plus simple, de « préférence », afin de pouvoir analyser les effets d'orientation des images tactiles représentées.

Dans la phase expérimentale « **reconnaissance** », il est donc demandé à l'enfant de reconnaître les images tactiles qui lui sont présentées. La longueur du test ne permettant pas de passer en revue toutes les images, seuls huit items sur les douze disponibles sont présentés aux enfants. Afin d'avoir une présentation équilibrée de chacun des douze items sur l'échantillon de sujets, quatre séries de huit items ont été constituées. Le Tableau 25 rend compte de la constitution de ces quatre séries d'items.

Tableau 25. Distribution de chaque item à l'intérieur des quatre séries présentées aux sujets au cours de la partie « *reconnaissance* » de l'expérience 2.

Catégorie	Item	SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	SERIE 4
Animaux	Chien		×	×	
	Eléphant	×			×
	Oiseau	×		×	
	Poisson		×		×
Anse	Arrosoir	×	×		×
	Tasse	×	×	×	
Manche	Brosse à dent		×	×	×
	Hache	×		×	×
Particulier	Ciseaux	×	×		×
	Clé	×		×	×
Neutre	Chaise		×	×	×
	Chaussure	×	×	×	

L'attribution d'une série à un sujet a été faite de sorte que les quatre séries soient présentées de la manière la plus équilibrée possible selon le statut visuel, le groupe d'âge et le sexe. La répartition des sujets pour chaque série d'items en fonction de leurs spécificités est reportée dans le Tableau 26. Avec huit items pour une série, le nombre d'images à reconnaître pour un sujet est donc de seize (rappel : pour un item, il y a deux images, une orientée vers la gauche, une autre orientée vers la droite). Les images tactiles sont présentées une par une, dans un ordre aléatoire, chaque fois différent pour chaque enfant.

Tableau 26. Répartition des sujets en fonction de leurs spécificités pour chaque série d'items de la partie « *reconnaissance* » de l'expérience 2.

Série	Statut visuel	Groupe d'âge	Sexe
Numéro 1	DV : $n=7$	3-6 ans : $n=1$ 6-9 ans : $n=2$ 9-12 ans : $n=4$	5 filles 2 garçons
	V : $n=7$	3-6 ans : $n=1$ 6-9 ans : $n=3$ 9-12 ans : $n=3$	4 filles 3 garçons
Numéro 2	DV : $n=6$	3-6 ans : $n=2$ 6-9 ans : $n=1$ 9-12 ans : $n=3$	3 filles 3 garçons
	V : $n=6$	3-6 ans : $n=1$ 6-9 ans : $n=3$ 9-12 ans : $n=2$	2 filles 4 garçons
Numéro 3	DV : $n=7$	3-6 ans : $n=1$ 6-9 ans : $n=2$ 9-12 ans : $n=4$	5 filles 2 garçons
	V : $n=7$	3-6 ans : $n=1$ 6-9 ans : $n=4$ 9-12 ans : $n=2$	4 filles 3 garçons
Numéro 4	DV : $n=7$	3-6 ans : $n=1$ 6-9 ans : $n=2$ 9-12 ans : $n=4$	4 filles 3 garçons
	V : $n=8$	3-6 ans : $n=1$ 6-9 ans : $n=4$ 9-12 ans : $n=3$	4 filles 4 garçons

Dans la seconde phase expérimentale « préférence », on présente à l'enfant les deux orientations (gauche et droite) de la totalité des items en lui indiquant ce qui est représenté. Il doit alors dire quelle orientation il préfère, en désignant la représentation qui lui plaît le plus. Les items sont présentés aléatoirement, en alternant la position des deux images (orientation gauche à la gauche de l'enfant, orientation droite, à la droite de l'enfant/ orientation gauche à la droite de l'enfant, orientation droite à la gauche de l'enfant).

La procédure expérimentale est similaire dans les deux phases. L'enfant est assis devant une table sur laquelle est fixé le dispositif expérimental. L'expérimentateur est installé à ses côtés. Avant la première phase, et afin de familiariser l'enfant avec le matériel, on commence à lui montrer et à lui faire toucher un livre illustré tactile, en lui expliquant qu'il va devoir bien explorer des images en relief comme celles reproduites dans le livre et nous dire tout ce « qu'il reconnaît, tout ce qu'il comprend dans ces images ». Puis, l'expérimentateur place une image de démonstration derrière le cache, et explique à l'enfant qu'il va devoir passer ses mains sous le cache pour venir explorer l'image qui est derrière. La phase

expérimentale « *reconnaissance* » débute sitôt que l'enfant a compris le but du jeu. L'expérimentateur installe alors la première image, et demande à l'enfant de bien l'explorer. L'exploration est libre et aucune indication sur l'objet n'est fournie. Lorsque l'enfant a reconnu l'objet représenté sur l'image ou lorsque visiblement il a terminé son exploration, une nouvelle image est placée derrière le cache et ainsi de suite jusqu'à la fin de la série. La durée du temps d'exploration n'est donc pas imposée. L'intégralité de la phase expérimentale est filmée.

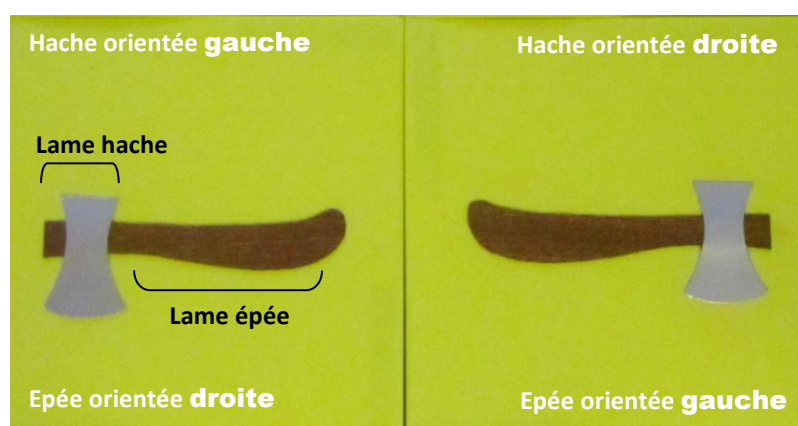
Une fois toutes les images explorées, on passe à la phase « *préférence* ». L'expérimentateur installe les deux premières images derrière le cache, dit à l'enfant ce qu'elles représentent et lui demande de les explorer afin de désigner laquelle des deux il préfère. Dès que l'enfant a exprimé sa préférence, une seconde paire de planches est installée derrière le cache, et ainsi de suite, jusqu'à ce que les 12 paires d'images aient été présentées à l'enfant. De même que pour la phase « *reconnaissance* », la durée du temps d'exploration n'est pas imposée et l'intégralité de la phase expérimentale est filmée.

2.4. DONNEES ANALYSEES

Phase « *reconnaissance* »

Concernant la première partie de l'expérience, la phase « *reconnaissance* », nous avons consigné l'ensemble des réponses fournies par les enfants dans un tableau (consultables en annexe 4, p.248). Ces réponses ont été classées en trois catégories : les reconnaissances correctes, les reconnaissances plausibles et les reconnaissances incorrectes. Une réponse est classée dans la catégorie plausible lorsqu'elle ressemble à l'item exploré du point de vue de la forme. Par exemple, si l'image de la hache est reconnue comme une épée, alors cette réponse sera considérée comme plausible. Par contre, concernant certaines réponses plausibles, l'attribution d'une orientation gauche ou orientation droite a dû être repensée. Reprenons l'exemple de la hache reconnue comme étant une épée. Comme l'illustre la Figure 40, l'orientation de l'objet change car la partie active n'est pas du même côté. En effet, lorsque la partie active de la hache est à gauche (la lame), la partie active de l'épée est à droite (le manche de la hache devient la lame de l'épée). Donc si la hache orientée gauche a été reconnue comme étant une épée, elle a été cotée « plausible droite », et inversement si la hache orientée droite a été reconnue comme une épée, elle a été cotée « plausible gauche ».

Figure 40. Exemple du changement d'orientation de l'objet en fonction du type de reconnaissance



A partir de ces réponses, ont été calculés des pourcentages moyens de reconnaissance sur l'ensemble des images explorées et par catégorie. Ainsi, chaque enfant obtient un score moyen de « reconnaissance gauche » et un score moyen de « reconnaissance droite » sur la totalité des catégories et par catégorie d'objets, pour chacun des types de reconnaissance : correctes, plausibles, incorrectes.

Phase « préférence »

Pour ce qui est de la seconde phase de l'expérience, la phase « *préférence* », nous avons recueilli les choix de représentation gauche ou droite des items présentés aux enfants. Trois types de réponses ont été donnés par les enfants : désignation de l'orientation gauche, désignation de l'orientation droite, ne se prononce pas. De même que pour la phase « reconnaissance », chaque enfant obtient un score moyen de « préférence gauche » et un score moyen de « préférence droite » sur l'ensemble des items présentés et par catégorie d'items. Précisons que les réponses de quatre sujets déficients visuels n'ont pas été retenues, car ils désignaient systématiquement l'image qui se trouvait du même côté (toutes les images sur leur gauche, ou toute les images sur leur droite).

3. RESULTATS

3.1. IMPACT DE L'ORIENTATION DES IMAGES TACTILES SUR LEUR COMPREHENSION

Les reconnaissances effectuées par les enfants en fonction de l'orientation des images explorées ont été étudiées à l'aide d'ANOVAS. Une première analyse a été conduite sur

l'ensemble des sujets avec comme facteurs inter-sujets le statut visuel (3 groupes : aveugles versus malvoyants versus voyants) et l'âge (3 groupes : 3-6 ans versus 6-9 ans versus 9-12 ans). Afin d'étudier l'impact de l'expertise haptique chez les enfants déficients visuels et de déterminer les éventuelles interactions entre ce facteur et les facteurs statut visuel et âge, une seconde analyse a été menée uniquement sur les données des enfants aveugles et malvoyants avec comme facteurs inter-sujets le statut visuel (2 groupes : aveugles versus malvoyants) et l'âge (3 groupes : 3-6 ans versus 6-9 ans versus 9-12 ans) ou le niveau d'expertise (3 niveaux : débutant, intermédiaire, expert). Lorsqu'un effet du statut visuel apparaît, montrant une différence entre aveugles et malvoyants, une nouvelle ANOVA avec le facteur OMS (3 catégories) à la place du facteur statut visuel a été conduite. Enfin, des t de Student ont été réalisés pour déterminer les éventuelles différences de reconnaissances selon la catégorie d'objets explorés.

Avant de détailler les résultats obtenus, précisons qu'aucun effet de la série d'items présentée aux sujets n'a été mis en évidence. De même, aucun effet significatif du facteur sexe n'a été observé.

- Reconnaissances Globales

Examinons tout d'abord les reconnaissances globales (toutes catégories confondues). Nous nous posons la question de l'existence d'une orientation prototypique des représentations haptiques d'objets familiers telle qu'elle est observée en modalité visuelle (Kebbe & Vinter, 2013). Si cette orientation canonique existe, la compréhension des images tactiles dans l'orientation privilégiée serait facilitée non seulement chez les enfants voyants, mais également chez les enfants déficients visuels. Les enfants qui ont participé à cette étude sont des enfants de culture occidentale lisant et écrivant le français en noir et/ou en braille. L'orientation privilégiée serait donc l'orientation gauche. Nous nous attendons également à retrouver un effet de l'âge en lien avec l'apprentissage de la lecture et de l'écriture, et donc des reconnaissances réellement facilitées pour l'orientation gauche dans le groupe d'âge d'enfants plus âgés (9-12 ans)

Les résultats montrent que ces hypothèses ne sont pas validées. En effet, comme l'illustre la Figure 41 nous observons que pour le statut visuel, comme pour l'appartenance au groupe d'âge aucun effet de l'orientation de l'image explorée sur les performances de reconnaissance n'a été mis en évidence, $F_s < 1$. Nous retrouvons cependant, indépendamment de l'orientation de l'image, un effet des deux facteurs sur la performance des sujets, $F_s(2,46)$

> 6 , $p_s < .005$). Ainsi, les enfants malvoyants reconnaissent significativement mieux les images explorées que leurs pairs aveugles et malvoyants (respectivement $M=40\%$ contre $M=15\%$ et $M=17\%$), et les enfants plus jeunes (3-6 ans, $M=10\%$) ont de moins bonnes performances de reconnaissance que les plus âgés (6-9 ans et 9-12 ans, $M=31,5\%$), HSD de Tukey $p_s < .005$. Ces résultats rejoignent les observations faites dans la première expérience.

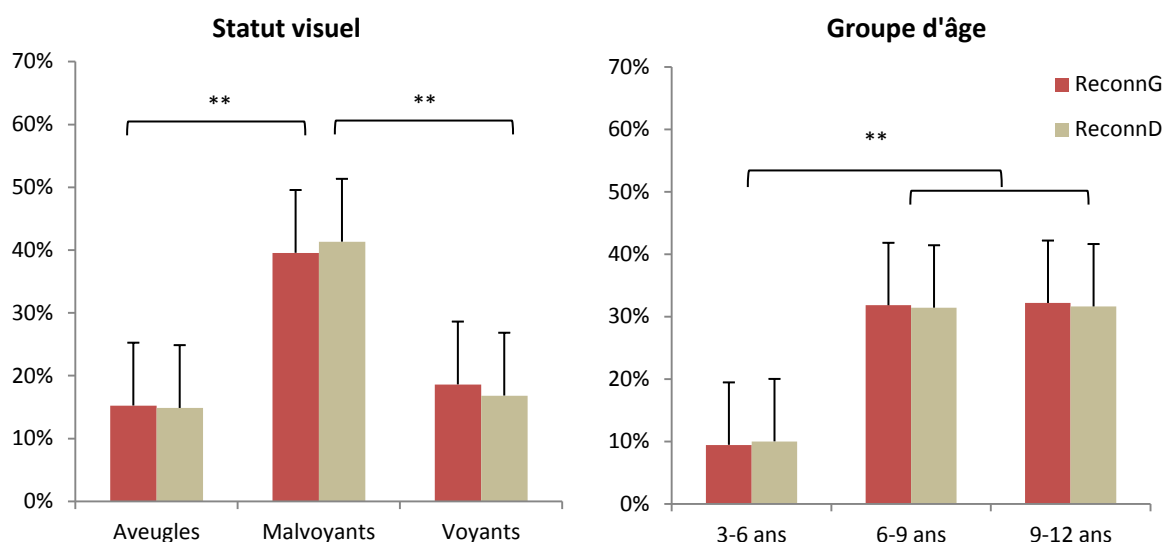


Figure 41. Reconnaissances gauches et reconnaissances droites en fonction du statut visuel et de l'âge (pourcentages moyens et erreurs-types).

Lorsque l'on prend en compte la *catégorie OMS*, on observe qu'il y a bien un effet de ce facteur, $F(2,24) = 4.67$, $p > .01$ et que ce sont les enfants atteints du degré de cécité le plus profond (Catégorie 5, $M = 17\%$) qui présentent les moins bonnes performances de reconnaissance, significativement inférieures aux performances de reconnaissance des enfants ayant le degré de handicap visuel le plus léger (catégorie 3, $M = 45\%$), HSD de Tukey, $p < .05$. Ces résultats sont illustrés dans la Figure 42.

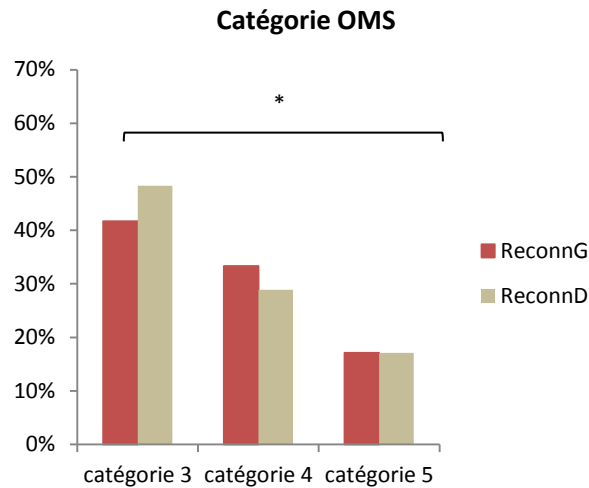


Figure 42. Reconnaissances gauches et reconnaissances droites en fonction de la catégorie OMS (pourcentages moyens et erreurs-types).

Concernant *l'expertise haptique* chez les enfants déficients visuels, aucun biais de reconnaissance en fonction de l'orientation des images tactiles explorées n'a été mis en évidence, comme on peut le voir sur la Figure 43. Les enfants reconnaissent aussi bien les images orientées à gauche que celles orientées à droite, $F_s < 1$. En revanche, nous retrouvons à nouveau un effet de l'expertise haptique sur les performances de reconnaissance, similaire aux observations faites dans notre première expérience, $F_s(2, 24) = 7.70, p_s < .001$. Les enfants les plus expérimentés sont ceux qui présentent les meilleures performances de reconnaissance (experts, $M = 40\%$), significativement supérieures à celles de leurs camarades ayant un niveau d'expertise moins élevé (débutants, $M = 14\%$; intermédiaires, $M = 17\%$), HSD de Tukey, $p_s < .01$.

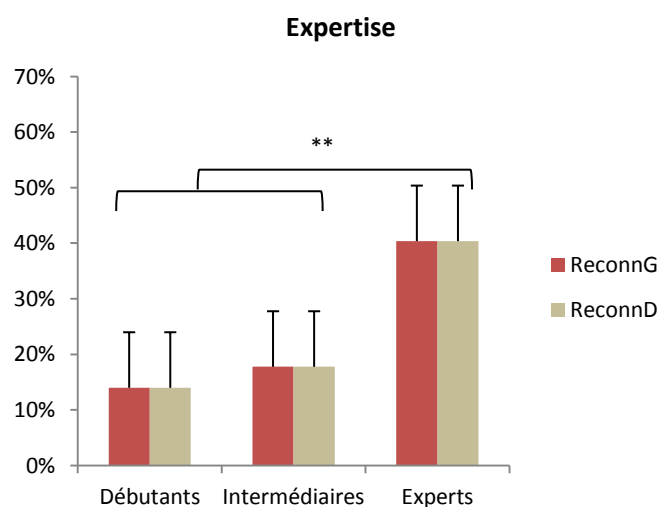


Figure 43 Reconnaissances gauches et reconnaissances droites en fonction du niveau d'expertise haptique (pourcentages moyens et erreurs-types).

Si l'on élargit l'acceptation des reconnaissances correctes en associant les identifications correctes et les identifications plausibles, les performances augmentent d'en moyenne 10 points. Cela ne change pas la constance des réponses selon l'orientation et les effets du statut visuel, du groupe d'âge et de l'expertise sont conservés, comme le montre la Figure 44

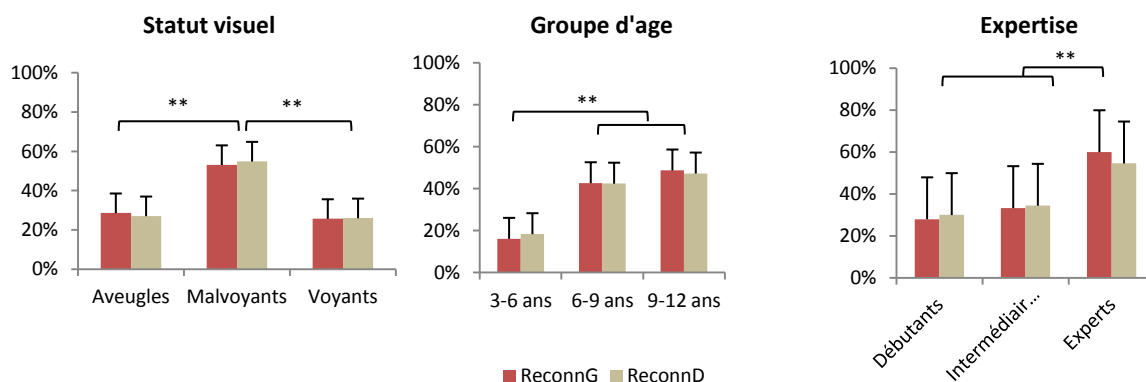


Figure 44. Reconnaissances correctes + plausibles gauches et droites en fonction du statut visuel, du groupe d'âge et du niveau d'expertise haptique (pourcentages moyens et erreurs-types).

Etant donné l'absence d'effet provoqué par la prise en compte des reconnaissances plausibles, nous avons continué l'analyse des données en considérant uniquement les reconnaissances correctes (en vérifiant toutefois qu'aucun effet nouveau ne survenait avec un élargissement de l'analyse aux reconnaissances plausibles).

- Reconnaissances par catégorie

Regardons à présent si une orientation spatiale privilégie la compréhension de l'image explorée selon la catégorie d'objets représentés.

Concernant le *statut visuel*, nous avons vu qu'en moyenne, les enfants, quel que soit leur statut visuel, ne présentent pas de reconnaissances différenciées selon l'orientation des objets représentés. La Figure 45 montre que ce résultat reste relativement constant quelle que soit la catégorie d'objets. Toutefois, les enfants aveugles ont une tendance à mieux reconnaître les animaux orientés à droite, les enfants malvoyants présentent cette tendance à un biais de reconnaissance droite pour les objets avec un manche (hache et brosse à dent), alors que les enfants voyants seraient plutôt avantagés pour reconnaître les images des objets avec manche et manipulation spécifique (ciseaux et clé) selon une orientation gauche.

Cependant, ces observations ne sont pas confirmées par le test t de Student, $t_s < 1$. Par ailleurs, on relève que les bonnes performances des enfants malvoyants sont associées à la reconnaissance des animaux ($M = 66\%$) et des objets demandant une manipulation spécifique ($M = 60\%$), $t_s(32) > 2$, $p_s < .05$.

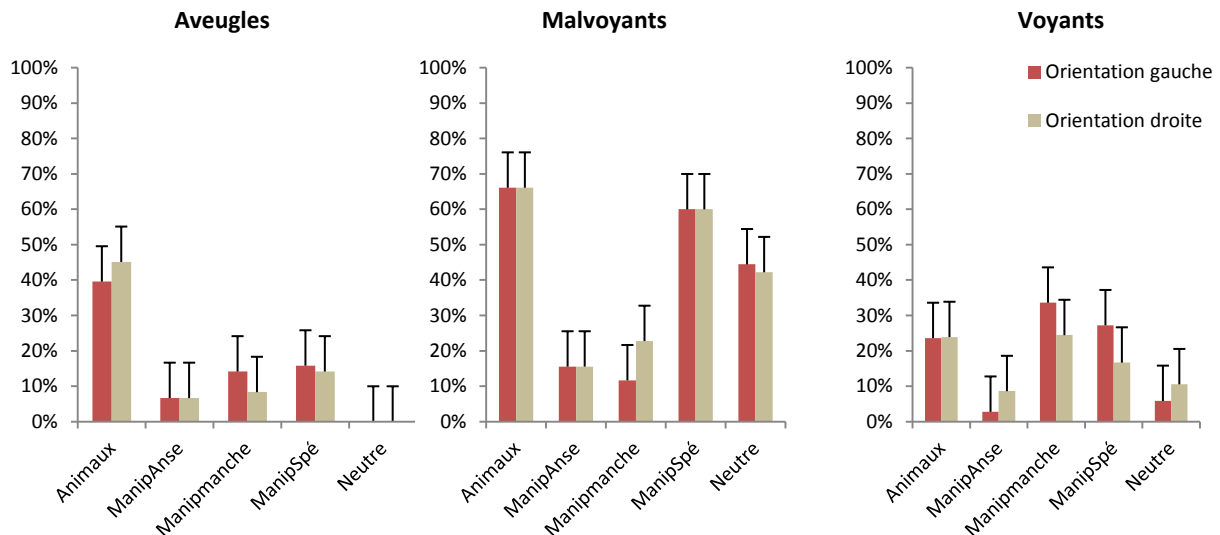


Figure 45. Reconnaissances gauches et reconnaissances droites selon la catégorie d'objet et le statut visuel (pourcentages moyens et erreurs-types).

De plus, aucun biais de reconnaissance selon l'orientation de l'image explorée n'a été observé en fonction de l'appartenance au *groupe d'âge*. La Figure 46 indique que ce résultat reste le même quelle que soit la catégorie d'objets. Il est confirmé par le test t de Student, $t_s < 1$. Notons qu'à partir de 6 ans, les enfants sont encore une fois particulièrement performants pour reconnaître les animaux ($M = 58\%$) et les objets demandant une manipulation spécifique ($M = 48\%$), $t_s > 2$, $p_s < .05$.

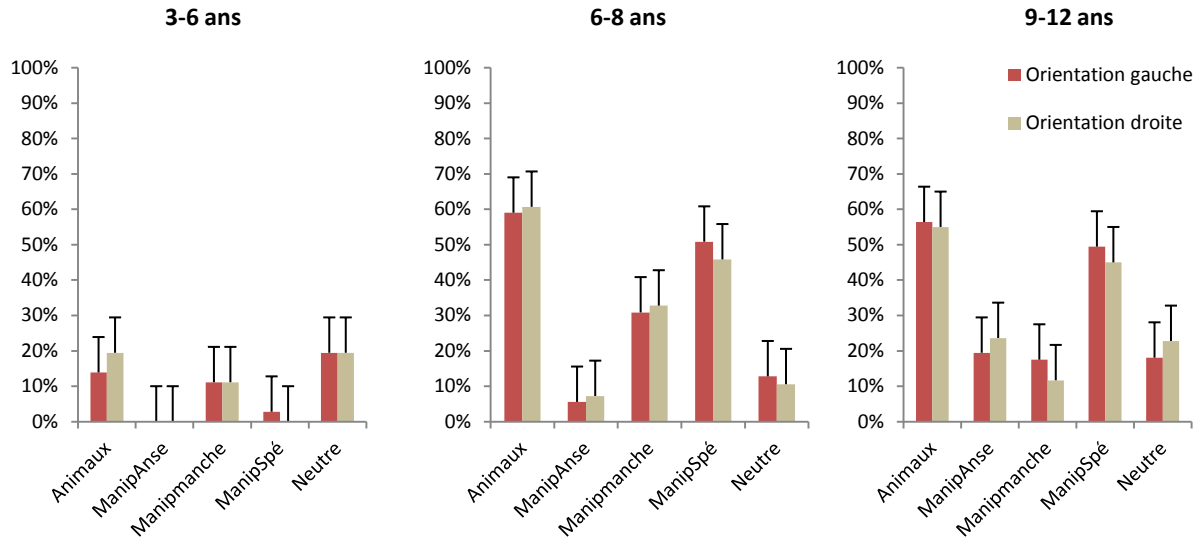


Figure 46. Reconnaissances gauches et reconnaissances droites selon la catégorie d'objet et le groupe d'âge (pourcentages moyens et erreurs-types).

Le même type de résultats est obtenu lorsque l'on s'intéresse aux reconnaissances des enfants déficients visuels selon leur *niveau d'expertise haptique*. Ainsi, comme l'illustre la Figure 47, en prenant en compte les différentes catégories d'objets explorés, aucune différence significative n'est observée entre les orientations gauches et droites des objets représentés, et ce, quel que soit le niveau d'expertise considéré ($t_s < 1$), malgré une tendance des enfants débutants à mieux reconnaître les animaux orientés à droite. Les différences observées pour chaque catégorie selon le niveau d'expertise ne sont étonnement pas significatives, $t_s > 1$, $p_s > .09$.

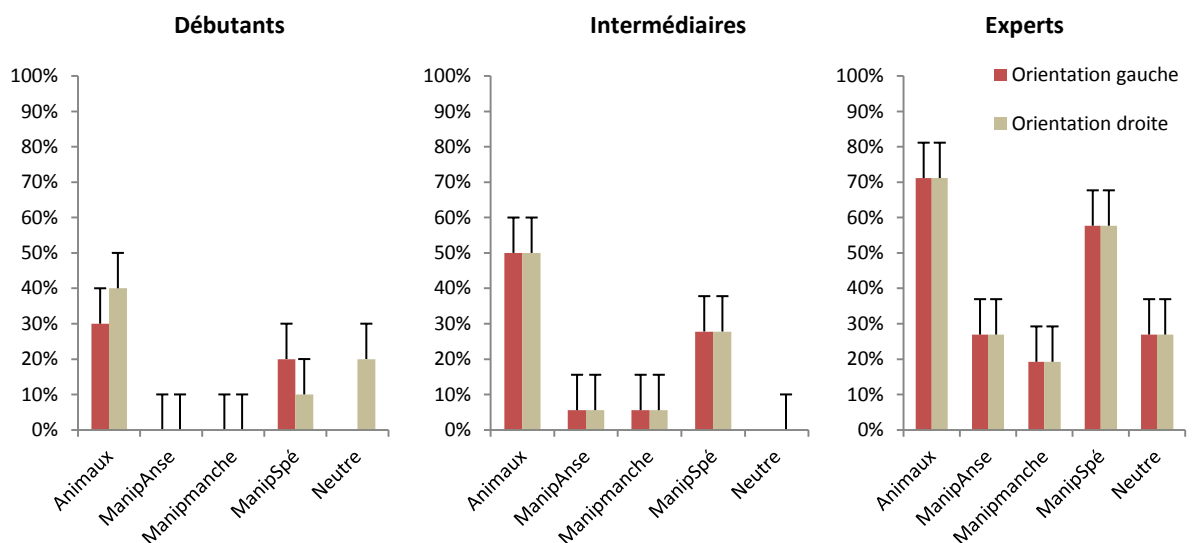


Figure 47. Reconnaissances gauches et reconnaissances droites selon la catégorie d'objet et le niveau d'expertise (pourcentages moyens et erreurs-types).

De manière générale, les performances de reconnaissance sont faibles comparativement à ce que nous avons pu observer dans notre première expérience. Sur l'ensemble des enfants qui ont participé à cette étude, le pourcentage moyen de reconnaissance des images explorées, qu'elles soient orientées à gauche comme à droite, tourne autour de 28%. Les faibles performances de reconnaissance ne sont pas surprenantes et s'expliquent par le fait qu'aucune indication sémantique sur l'image explorée n'a été donnée à l'enfant. Ils rejoignent des observations faites par un certain nombre d'auteurs (Klatzky, Chataway, & Summers, 1990 ; Magee & Kennedy, 1980 ; Kennedy & Fox, 1977), qui ont constaté des taux d'identification d'images tactiles particulièrement faibles chez des sujets adultes aveugles et voyants sous occlusion visuelle n'ayant pas bénéficié d'informations sémantiques concernant le pattern tactile à identifier.

Les performances faibles de reconnaissance correcte des images tactiles des enfants témoignent bien de la difficulté de cette tâche. Ces résultats montrent l'intérêt de la seconde tâche (tâche de préférence) pour analyser les effets d'orientation des images tactiles

3.2. ORIENTATION PREFEREE APRES EXPLORATION

Pour ce qui concerne la tâche de préférence, les données ont été analysées à l'aide de t de Student. Les réponses de trois enfants aveugles et d'un enfant malvoyant ont dû être supprimées, ces enfants n'ayant pas répondu à la consigne demandée, comme en témoigne leur comportement qui a consisté à désigner de façon systématique la planche située soit sur leur droite soit sur leur gauche comme étant celle qu'ils préféraient. C'est donc un échantillon constitué de 14 enfants aveugles, 9 malvoyants et 28 voyants qui a été analysé.

- Préférences globales

Intéressons-nous pour commencer aux préférences toutes catégories d'objets confondues. Aucun effet d'orientation n'apparaît avec les reconnaissances, mais il pourrait en aller autrement en analysant les préférences de l'enfant. Comme le montre la Figure 48, aucun biais de préférence d'orientation gauche ou droite ne semble à nouveau être présent en fonction du statut visuel.

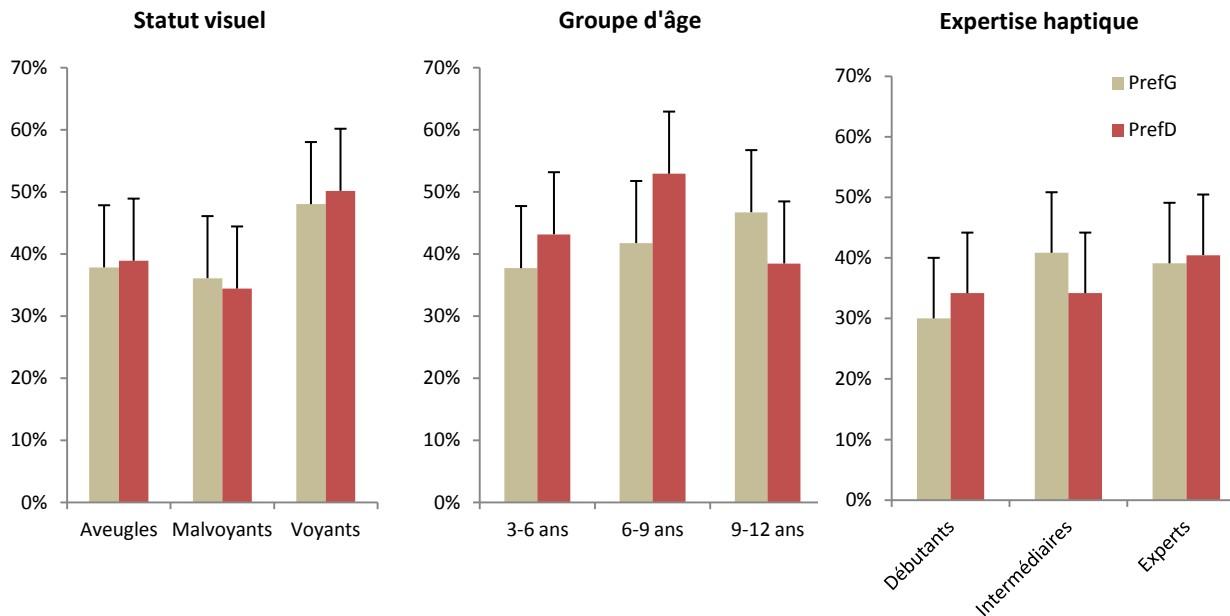


Figure 48. Préférence de l'image orientée gauche ou droite en fonction du statut visuel et du groupe d'âge (pourcentages moyens et erreurs-types).

Concernant l'appartenance au *groupe d'âge*, on observe une légère préférence pour les images orientées à droite chez les enfants jusqu'à l'âge de 9 ans, tendance qui s'inverse chez les enfants plus âgés, qui semblent se tourner plus vers les images orientés à gauche. Du point de vue de *l'expertise tactile*, les enfants déficients visuels présentant un niveau d'expertise intermédiaire paraissent préférer les images tactiles orientées à gauche. Cependant, un t de Student confirme la significativité de ces tendances uniquement pour la préférence de l'orientation droite par les enfants du second groupe d'âge (6-9 ans), $t(32) = 1.97$, $p = .05$, les autres différences étant non significatives, $t_s < 1$.

- Préférences par catégorie

Globalement, aucune préférence significative pour l'orientation gauche ou droite des images tactiles représentées n'a été mise en évidence en fonction des différents facteurs « sujet ». En prenant en compte les catégories des images, des biais de préférence selon l'orientation des images peuvent-ils émerger ?

Concernant le *statut visuel*, les résultats sont consignés dans la Figure 49. Les **enfants aveugles** ont tendance à préférer l'orientation gauche pour les objets avec un manche et l'orientation droite pour les objets avec une anse et les objets neutres. Cependant, le t de Student ne révèle pas une significativité de ces préférences, $t_s < 1$. Les **enfants malvoyants** présentent des préférences plus nuancées selon la catégorie des objets représentés sur les

images explorées. Ainsi, ils ont tendance à préférer les animaux et les objets avec une anse orientés à gauche et les objets avec un manche et les objets qui se manipulent de manière spécifique orientés à droite. Le test t de Student met en avant une préférence juste significative uniquement pour les animaux orientés à gauche, $t(16) = 2.27, p = .05$.

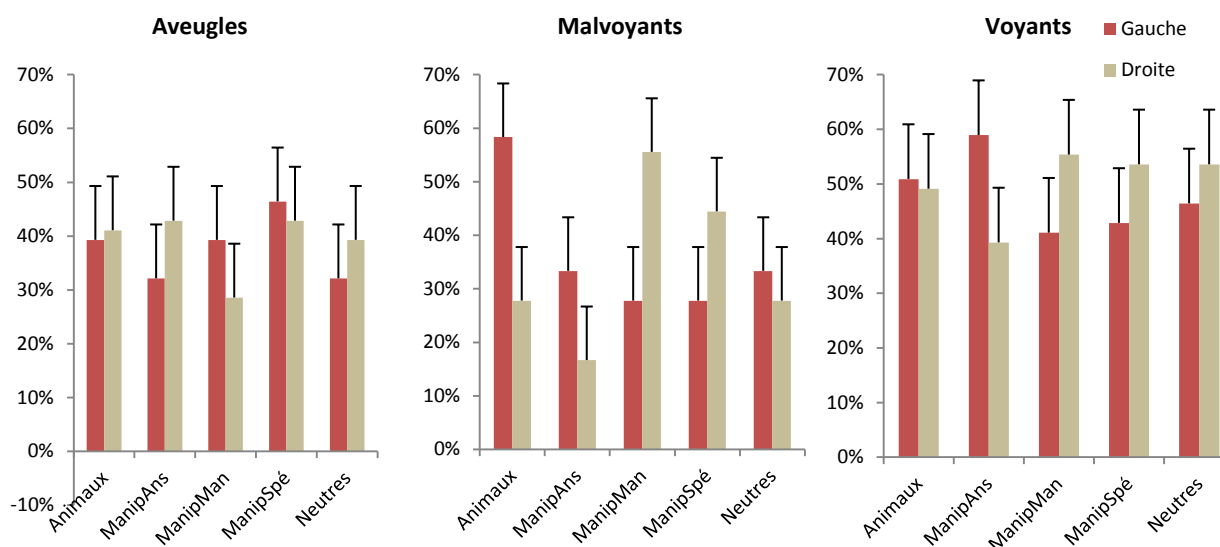


Figure 49. Préférence de l'image orientée gauche ou droite selon la catégorie d'objet et le statut visuel (pourcentages moyens et erreurs-types).

Les **enfants voyants** semblent avoir une préférence majoritairement à droite pour les objets avec un manche, les objets qui demandent une manipulation spécifique et les objets neutres, et une préférence pour l'orientation gauche des objets avec une anse. Le test t de Student souligne une préférence juste significative uniquement pour l'orientation gauche des objets avec une anse, $t(54) = 1.95, p = .05$.

Intéressons-nous à présent aux différences de préférence d'orientation en fonction de l'appartenance au groupe d'âge et selon la catégorie des objets représentés sur les images tactiles. La Figure 50 suggère que les enfants les plus jeunes (**3-6 ans**) ont une préférence pour l'orientation gauche des animaux et une préférence pour l'orientation droite des objets avec un manche, des objets demandant une manipulation spécifique et des objets neutres. Le test t de Student ne met en évidence qu'une préférence juste significative pour l'orientation gauche des animaux, $t(20) = 2, p = .05$.

On observe sur cette même figure un biais de préférence pour l'orientation droite de toutes les images chez les enfants du second groupe d'âge (**6-9 ans**). Cependant, le test t de Student, ne

révèle aucune différence significative des préférences selon l'orientation de ces objets pour ce groupe d'âge, $t_s < 2$, $p_s > .09$.

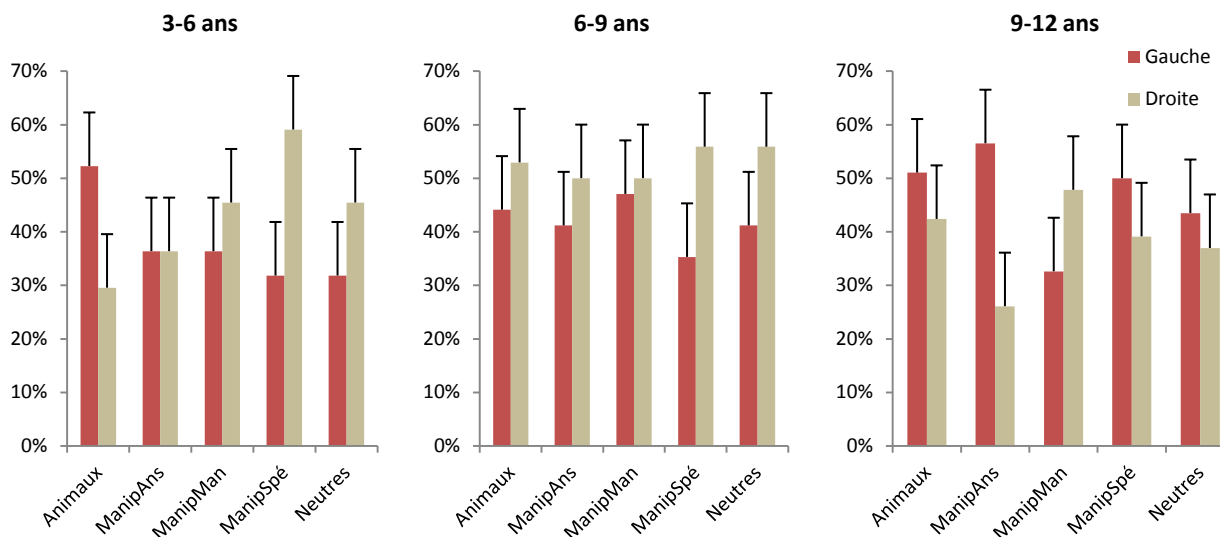


Figure 50. Préférence de l'image orientée gauche ou droite selon la catégorie d'objet et le groupe d'âge (pourcentages moyens et erreurs-types).

Enfin, chez les enfants plus âgés (**9-12 ans**), la Figure 50 suggère une préférence majoritaire de l'orientation gauche, à part pour les objets avec manche pour qui l'orientation préférée semble être la droite. Encore une fois, le test t de Student ne montre pas de différences significatives allant dans le sens de ces observations, mis à part pour les objets avec une anse dont l'orientation gauche est significativement préférée, $t(44) = 2.67$, $p = .01$.

Cette absence de résultats de préférence de l'orientation selon la catégorie des objets représentés sur les images tactiles se répète-t-elle en considérant le niveau d'expertise haptique ?

Les résultats obtenus par les enfants **débutants** montrent qu'ils auraient une tendance à préférer l'orientation gauche des animaux, et l'orientation droite des objets demandant une manipulation spécifique et des objets à la manipulation neutre, comme nous pouvons le voir que la Figure 51. Encore une fois, le test t de Student ne révèle aucun biais de préférence chez les enfants débutants, $t_s < 1,4$, $p_s > .2$.

La Figure 51 suggère également que chez les enfants de niveau d'expertise **intermédiaire**, il y aurait une tendance à préférer l'orientation gauche des objets à manipulation neutre et l'orientation droite des objets avec une anse. Le test t de Student va uniquement dans le sens

de la tendance à préférer l'orientation gauche des objets à manipulation neutre, $t(10) = 2, p = .07$

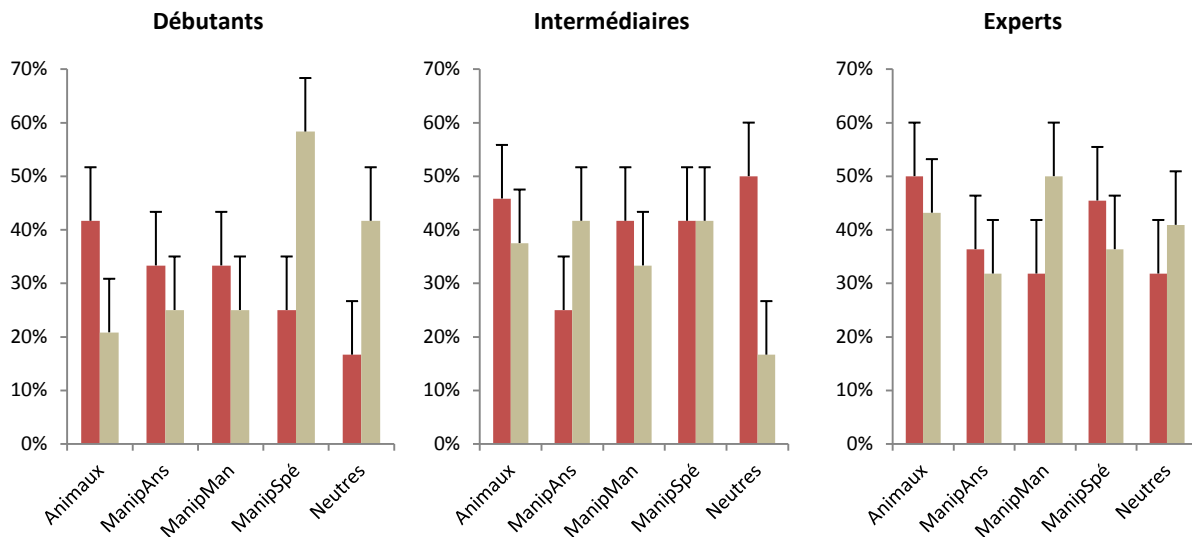


Figure 51. Préférence de l'image orientée gauche ou droite selon la catégorie d'objet et le niveau d'expertise haptique (pourcentages moyens et erreurs-types).

Enfin, concernant les enfants **experts**, les différences de préférences d'orientation selon les catégories d'objets sont moins marquées que pour les enfants de niveaux inférieurs, ce qui donne à penser qu'elles ne sont pas significatives. Effectivement, le test t de Student ne met en avant aucune différence significative concernant la préférence de l'orientation des différents objets représentés sur les images tactiles explorées, $t_s < 1.3, p_s > .20$.

4. DISCUSSION

Dans ce chapitre, la question de l'existence d'une orientation canonique des représentations haptiques d'objets familiers, comme observé dans la modalité visuelle (Vaid, 1995 ; Kebbe & Vinter, 2013), a été soulevée. Si cette orientation spatiale prototypique existe, représenter les objets familiers dans les livres avec une orientation congruente pourrait faciliter leur compréhension. Cependant, tous les résultats convergent vers la même conclusion : aucun effet de l'orientation spatiale des objets familiers représentés sur la compréhension des images tactiles n'a pu être mis en évidence. Cette observation est stable quelle que soit la difficulté de la tâche effectuée par les enfants (reconnaissance ou

préférence). Cette absence d'orientation spatiale privilégiée se retrouve chez tous les enfants, quels que soient leur statut visuel, leur âge ou leur degré d'expertise haptique.

Comment expliquer cette absence de résultats ?

Commençons par réfléchir à ce qu'il se passe pour les enfants déficients visuels. Une première piste d'interprétation en relation avec la spécialisation hémisphérique peut être avancée. Les deux hémisphères cérébraux traitent les informations de manière bien spécifique, chacun est spécialisé pour un type d'information (Streri, 2000a). Ainsi, l'hémisphère gauche traite préférentiellement des informations verbales, plutôt analytiques et séquentielles et est spécialisé dans le contrôle moteur. L'hémisphère droit est, quant à lui, spécialisé dans le traitement des informations spatiales, globales et simultanées. Le dessin étant une tâche spatiale, il active donc de manière préférentielle l'hémisphère droit du cerveau, ce qui induit un biais attentionnel sur la gauche. Cette latéralisation hémisphérique est clairement démontrée chez les sujets voyants. En revanche chez les sujets aveugles, elle est discutée. En effet, le déficit d'informations visuo-spatiales chez les individus atteints de cécité réduirait la compétition interhémisphérique, au bénéfice d'un traitement du langage plus bilatéral (Cattaneo & Vecchi, 2011). L'implication plus marquée de l'hémisphère droit dans le traitement d'informations verbales peut en outre être expliquée par la pratique du braille chez les sujets présentant un déficit visuel sévère. Le braille est une langue qui présente des dimensions spatiales intrinsèques comparativement à une langue orale. Pour appuyer cette hypothèse, il a été montré que les brailleuses averties présentent un avantage de l'oreille droite (donc une implication de l'hémisphère gauche) moindre dans une tâche de discrimination auditive en comparaison à des sujets aveugles non brailleuses qui montrent une asymétrie gauche-droite habituellement observée chez les voyants (Karavatos, Kaprinis, & Tzavaras, 1984). De plus, la pratique experte du braille « annulerait » une éventuelle préférence manuelle, la lecture fluide étant conditionnée par l'utilisation rapide des deux mains (Millar, 1987 ; Bertelson, Mousty, & D'Alimonte, 1985). Toutes ces considérations amènent à penser que les spécificités perceptives liées à l'absence de vision, ajoutées à l'entraînement particulier impliqué par le braille qui minimise l'asymétrie hémisphérique, peuvent expliquer en partie l'absence de préférence dans l'orientation gauche-droite des images tactiles chez les sujets déficients visuels.

Dans cette ligne de raisonnement, un effet de l'orientation gauche-droite des objets représentés dans les images tactiles pourrait être attendu chez les sujets présentant un niveau

d'expertise débutant. Or il n'en est rien. Nous pouvons expliquer cette observation par le fait que, ces sujets présentant un niveau d'expertise haptique débutant, ne sont pas suffisamment familiarisés à l'écriture braille. Les habitudes de lecture et d'écriture n'étant pas suffisamment installées, elles n'influent pas sur la perception en termes d'orientation gauche-droite de l'image explorée, comme montré chez les sujets voyants par Kebbe et Vinter (2013).

Si des pistes d'interprétation peuvent être avancées concernant l'absence de biais d'orientation gauche-droite des enfants déficients visuels, comment expliquer que chez les enfants voyants explorant sans voir, cet effet observé en modalité visuelle disparaisse en modalité haptique ?

Les spécificités de traitement de l'information dans la modalité haptique sont à considérer ici. En effet, visuellement, une image est perçue dans sa globalité. De ce fait, l'orientation du profil de l'objet représenté est captée de manière immédiate. Dans la modalité haptique, séquentielle par nature, cette globalité n'est pas accessible (Gentaz, 2005). Les différentes parties explorées doivent être traitées et intégrées pour accéder à une représentation globale de l'objet. Dans ce cas où la perception n'est pas immédiate, une orientation « préférée » perd en quelque sorte de son intérêt pour aider à la reconnaissance d'un objet. Pour pouvoir « reconnaître », il faut déjà « connaître ». « Connaître » un objet implique de l'avoir rencontré un certain nombre de fois pour pouvoir en construire une représentation prototypique. Cette représentation prototypique s'élabore au fur et mesure que le sujet est confronté à des objets d'une même catégorie, à partir des invariants constituant ces objets. Si nous prenons par exemple le concept d'*oiseau*, les éléments invariants qui le constituent sont un bec, des ailes, des plumes, deux pattes... « Reconnaître » un objet implique un niveau de traitement supérieur, car le sujet va devoir généraliser sa perception d'un objet particulier sur la base de ses connaissances et de ses représentations. L'orientation ne semble pas constituer un invariant prototypique pertinent si on réfléchit en terme de généralisation. Dans le cas de la modalité haptique, le traitement de l'information est plus complexe. Le caractère séquentiel de l'exploration entraîne la nécessité d'intégrer au préalable les différentes parties de l'objet pour en avoir une perception globale, pour pouvoir ensuite extraire les caractéristiques invariantes et accéder au prototype permettant une reconnaissance effective de l'objet. Ceci est d'autant plus opérant chez les enfants voyants qui traiteraient l'image tactile par médiation visuelle (Klatzky & Lederman, 1987), ce qui accentue le caractère séquentiel du traitement de l'information en modalité haptique : séquentialité de la perception et séquentialité entre les niveaux de traitement de l'information.

Une dernière piste d'interprétation de nos résultats est à évoquer : elle est liée à la manière dont l'espace est perçu dans la modalité haptique. Un certain nombre d'études ont montré que l'espace perçu au moyen de la modalité haptique n'est pas forcément un espace euclidien (Blumenfeld, 1937 ; Gentaz & Hatwell, 1995, 1996, 1998, 1999 ; Kappers & Koenderink, 1999 ; Fernández-Díaz & Travieso, 2011). Gentaz et Hatwell (1995, 1996 ; 1998 ; 1999) ont mis en évidence que selon la position du bras et des indices gravitaires qu'il fournit, la perception de l'espace de préhension varie chez les sujets aveugles comme chez les sujets voyants. En effet, dans la modalité visuelle, on observe une meilleure perception des orientations verticales et horizontales comparativement aux orientations obliques (Gentaz & Ballaz, 2000 ; Gentaz & Tschopp, 2002). Ce défaut de perception des obliques se retrouve dans la modalité haptique uniquement lorsque le bras donne des indices gravitaires (lorsque le bras se déplace librement dans l'air, faisant face aux forces gravitaires). En présence des indices gravitaires, modalité haptique et modalité visuelles fonctionnent donc sur le même principe, en codant plus facilement les axes euclidiens horizontaux et verticaux. Dans le cas où les bras reposent sur une table (situation de lecture d'un livre tactile par exemple), les indices gravitaires ne sont pas présents et l'effet de l'oblique disparaît. Les auteurs font alors l'hypothèse que les orientations ne sont plus perçues à travers des références euclidiennes, mais à travers un codage kinesthésique de la séquence de mouvements d'exploration (Hatwell, 2003). Ainsi, si nous transposons ces conclusions à notre étude, l'orientation gauche-droite des objets familiers représentés prend une autre dimension, et nous amène à réfléchir différemment. Ces conclusions appuient en effet l'existence d'une cognition incarnée propre à la modalité haptique. Quelle serait l'implication des propriétés sensorimotrices et proprioceptives propres à l'exploration haptique des objets familiers dans leur représentation prototypique construite par le sujet ? Kebbe et Vinter (2013) ont fait des observations allant dans cette direction pour la modalité visuelle. Les enfants droitiers qui ont participé à leur étude ont dessiné préférentiellement des objets dont l'action était centrée sur le sujet (tasse et brosse à dent) orientés à gauche. Pour elles, cet effet de la latéralité peut être interprété comme révélateur d'une représentation prototypique comportant des propriétés sensorimotrices spécifiant l'orientation congruente avec la manière d'interagir le plus facilement avec cet objet. Un droitier construira une représentation de la tasse avec une anse à droite¹⁷ parce que pour lui, elle est plus facile à saisir dans ce sens là.

¹⁷ Une tasse avec l'anse sur sa droite est un objet orienté à gauche, car c'est la partie active de l'objet qui en définit l'orientation, la partie active dans le cas de la tasse étant le contenant.

D'après ces résultats, nous pourrions donc nous attendre à trouver un effet de l'orientation gauche dans les catégories d'objets présentant une anse ou un manche. Or, nos résultats ne vont pas aussi loin. En effet, en prenant en compte le détail des catégories d'objets, aucun effet de l'orientation gauche-droite n'apparaît dans la tâche de reconnaissance. Dans la tâche de préférence, des observations isolées montrent que les enfants voyants et les enfants les plus âgés présentent effectivement une préférence gauche pour les objets avec une anse (tasse et arrosoir). Il semble donc que l'effet de la latéralité observé en modalité visuelle est plus résistant à la séquentialité du traitement haptique dans le cas où la représentation de l'objet semble intégrer des dimensions sensori-motrices propres à l'objet exploré, et ceci d'autant plus chez les sujets plus âgés.

Un dernier mot sur le fait que cette expérience reproduit les effets principaux des facteurs sujet « statut visuel », « âge » et « expertise » observés dans le chapitre de la première partie de la thèse (Partie reconnaissance de l'expérience princeps). En effet, les enfants malvoyants grâce à leur double expérience visuo-haptique montrent une meilleure compréhension des images tactiles explorées. Notons de plus que les performances de reconnaissance des enfants déficients visuels profitent d'un niveau d'expertise haptique élevé. Enfin, grâce au développement des capacités mnésiques et de conceptualisation, les enfants les plus âgés (à partir de 9 ans) sont plus performants que les enfants plus jeunes.

Chapitre 2. FORME VERSUS TEXTURE : IMPACT DES PROPRIETES DE L'IMAGE TACTILE SUR SA COMPREHENSION

1. INTRODUCTION

Dans le processus d'identification d'une image tactile texturée, deux propriétés sont essentielles : la *forme* et la *texture*. Ces deux propriétés sont porteuses d'informations déterminantes pour accéder à la représentation de l'objet. Il paraît donc important que les concepteurs d'images tactiles portent une attention toute particulière à ce que forme et texture des objets qu'ils cherchent à faire figurer soient cohérentes et adaptées aux spécificités haptiques et cognitives des enfants déficients visuels.

Au cours de notre étude princeps sur l'influence du guidage sémantique et des contraintes propres à l'enfant (voir PARTIE 1), nous avons observé, en particulier chez les enfants déficients visuels les plus jeunes, que la texture semblait accaparer toute l'attention de l'enfant au détriment de la perception de la forme. L'analyse des reconnaissances faites par les enfants ayant participé à la première étude (voir PARTIE 1 – Chapitre 1, p.65) a effectivement mis en évidence que les enfants aveugles se basaient significativement plus sur la texture que les enfants malvoyants et voyants pour reconnaître les éléments des images tactiles explorées et que ce type de reconnaissance était plus présent chez les enfants déficients visuels les plus jeunes.

S'il existe bien un conflit perceptif entre forme et texture, quel est son poids dans le processus d'identification d'une image tactile ? Comment les enfants déficients visuels le gèrent-ils en fonction de leur âge et de leur degré de handicap visuel ? Est-il également présent chez les enfants voyants ?

Une saillance perceptive d'une propriété d'objets a déjà été observée dans la modalité visuelle chez les jeunes enfants. En effet, les enfants âgés de 2-3 ans ont tendance à utiliser préférentiellement la couleur comme dimension de classification comparativement à la forme. La saillance de la couleur disparaît avec l'âge au profit de la forme (Brian & Goodenough, 1929 ; Suchman & Trabasso, 1966 ; Corah, 1966). La préférence pour la forme ou la couleur est de plus modulée par la complexité ou l'intensité de l'une et de l'autre dimension. Ainsi, Corah (1966) note que lorsque la forme devient plus complexe, les jeunes enfants montrent une préférence accrue pour la couleur. De même, Huang (1945) met en évidence que plus les couleurs sont intenses, plus la préférence pour la couleur augmente. Des travaux ont mis en

évidence un lien entre préférence pour une propriété donnée de l'objet et performances de discrimination (Gaines, 1964 ; Suchman, 1966). Gaines rapporte que les enfants montrent des performances de discrimination plus précises lorsqu'ils doivent se baser sur la dimension de l'objet qu'ils préfèrent.

Le lien entre préférence et performances de traitement de l'information perceptive est très intéressant dans le cas de l'adaptation des livres tactiles aux capacités perceptives des jeunes lecteurs déficients visuels. Si, effectivement, ces enfants montrent des préférences entre forme et texture et que ces préférences se modifient avec l'âge, elles doivent être prises en compte dans la fabrication des ouvrages.

Qu'en est-il de la préférence dimensionnelle des objets dans la modalité haptique ? Comment forme et texture sont-elles appréhendées ?

Bien que le traitement de la texture soit plus adapté au système haptique que celui de la forme, le toucher actif est capable d'appréhender ces deux propriétés (Pick, 1974, Freides, 1974 ; Hatwell, 1986 ; Klatzky, Lederman, & Reed, 1987). Cette capacité est précoce car les bébés montrent des compétences pour appréhender la forme et la texture des objets en trois dimensions. Ainsi, avant l'âge de 6 mois, ils sont déjà capables de distinguer différentes textures (Molina et Jouen, 1998) et différentes formes (Streri & Molina, 1993) lorsqu'on leur présente des objets en 3D. Vers la fin de la première année, ils montrent des mouvements d'exploration haptique spécifiques au traitement de la texture (Schellingerhout, Smitsman, & Van Galen, 1997 ; Landau, 1991) et au traitement de la forme (Landau, 1991). Ces stratégies d'exploration relatives aux propriétés des objets sont présentes chez les bébés voyants comme chez les bébés aveugles. Vers la fin de la première année, les bébés ont donc des capacités pour traiter la forme d'une part et la texture d'autre part, mais ils sont également capables de traiter en même temps les deux propriétés (Catherewood, 1993).

En modalité haptique, les recherches portant sur la préférence dimensionnelle des objets sont moins nombreuses que pour la modalité visuelle. Les études s'intéressant au traitement haptique concomitant de la forme et la texture restent rares chez l'enfant comme chez l'adulte. Elles sont, à notre connaissance, quasi inexistantes chez les sujets déficients visuels.

Lederman et Klatzky (1997) se sont interrogées à ce sujet, en observant des adultes voyants. Pour évaluer la capacité du système haptique à traiter les propriétés matérielles des

objets, dont fait partie la texture, elles ont adapté un paradigme utilisé dans la modalité visuelle par Treisman et Gormican (1988) : le *paradigme de recherche visuelle*. Ce paradigme consiste à présenter au sujet un ensemble de stimuli parmi lesquels il doit détecter une cible. Par exemple, trouver la ligne horizontale parmi une série de lignes verticales. Il permet d'évaluer la facilité du système perceptif à traiter telle ou telle valeur d'une propriété particulière des stimuli présentés. En adaptant ce paradigme à la modalité haptique, Lederman et Klatzky (1997) ont montré que le temps mis par les adultes voyants sous occlusion visuelle pour discriminer les cibles était différent en fonction de la propriété à discriminer. Ainsi, les adultes sont plus rapides pour trouver une cible qui se différencie des distracteurs par la texture, qu'une cible qui se différencie des distracteurs par la forme. Ces résultats confirment la facilité du système haptique à traiter la texture comparativement à la forme.

Chez les enfants voyants, quelques travaux ont porté sur la préférence haptique en termes de forme ou de texture. Cette préférence varie en fonction de l'âge des enfants. Les enfants voyants avant l'âge de 5 ans sont plus sensibles à la texture qu'à la forme (Klein, 1966 ; Gliner, Pick, Pick, & Hales, 1969 ; Siegel & Vance, 1970 ; Berger & Hatwell, 1993, 1996 ; Kalagher & Jones, 2011). La majorité de ces auteurs observent une inversion de cette tendance à préférer, dans la modalité haptique, la texture à la forme autour de 5-6 ans. La préférence haptique pour la texture chez les plus jeunes peut être mise en lien avec les capacités sensori-motrices d'exploration haptique. Forme et texture ne font pas appel à la même complexité de mouvements exploratoires pour être discriminées. En effet, la texture, à l'instar de la couleur dans la vision, est plus facilement accessible. Perçue de manière plus immédiate, son traitement nécessite des mouvements exploratoires relativement simples (*balayage, pression*), à la portée des enfants les plus jeunes. La perception de la forme est plus séquentielle. Les PE requises pour l'identifier sont plus élaborées (*suivi de contour*) et nécessitent une coordination de mouvements qui est mieux maîtrisée avec l'âge. De plus, même si les enfants avant 5-6 ans ont la capacité d'utiliser des PE adaptées au traitement de la forme, comme le *suivi de contour*, ils ne sont pas encore en mesure d'utiliser les informations obtenues pour raisonner sur la forme de l'objet exploré. Schwaezer, Küfer et Wilkening (1999) rapportent en effet que des enfants d'environ 4-5 ans classent des objets sur la base de la texture alors qu'ils ont utilisé le *suivi de contour* pour les explorer.

Un conflit perceptif entre forme et texture a-t-il déjà été observé dans la modalité haptique ?

Un certain nombre d'études a montré l'impact (positif ou négatif) de la texture sur la perception de propriétés spatiales, telles que l'estimation de la longueur (Corsini et Pick, 1969), de la distance (Schellingerhout, Smitslan, & Van Galen, 1998 ; Schellingerhout, 1998) et de l'inclinaison (Holmes, Hughes, & Jansson, 1998). Ainsi, le type de texture peut entraîner des erreurs d'estimation de la longueur et de la distance, mais faciliter la perception de l'inclinaison. Concernant l'estimation de la distance, l'effet négatif de la texture va notamment dépendre de la vitesse et de l'amplitude des mouvements d'exploration. En l'absence d'un mouvement dynamique, les sujets semblent traiter de manière préférentielle les informations liées à la texture, ce qui va biaiser leur interprétation de la distance. Cette tendance est particulièrement présente chez les enfants aveugles précoces jusqu'à l'âge de 12 ans. Pour ce qui est de la facilitation de l'estimation de l'inclinaison grâce à la texture, elle a été observée chez les adultes voyants explorant sans voir, comme chez les adultes aveugles précoces.

Des travaux menés par Berger et Hatwell (1993, 1995, 1996) sur le traitement concomitant des différentes propriétés des objets dans la modalité haptique nous ont amené à réfléchir à la question du conflit perceptif entre forme et texture de manière différente : au lieu de penser les processus de traitement de ces deux propriétés en opposition et de manière clivée, une vision plus intégrative ne pourrait-elle pas être adoptée? Berger et Hatwell (1993, 1995, 1996) ont basé leurs travaux sur des études menées par Garner quelques années plus tôt. Garner (1974) a utilisé des tâches de classification pour rendre compte de la manière dont étaient appréhendées différentes propriétés d'objets dans la vision. Il distingue deux types de propriétés : des propriétés « intégrées » et des propriétés « séparées ». Les propriétés intégrées sont perçues de manière globale, la modification d'une propriété entraînant un changement de perception des autres propriétés. Par exemple, certaines propriétés de la couleur (la teinte, la saturation et la brillance) ont une dimension intégrée. A l'inverse, les propriétés séparées sont perçues indépendamment les unes des autres, la modification d'une propriété n'ayant pas d'effet sur la manière de percevoir les autres propriétés. C'est notamment le cas de la perception de la taille et de la forme des objets chez les adultes. Dans la vision, cette manière de percevoir les propriétés des objets est fortement dépendante de l'âge (Evans & Smith, 1988 ; Shepp & Swartz, 1976, Smith, 1989 ; Smith & Kemler, 1977). Les enfants, autour de 4-5 ans, ont tendance à avoir une perception intégrée des propriétés, ils classent les objets par similarité globale, alors que les adultes les traitent de manière indépendante, se concentrant plus sur les différentes dimensions.

En utilisant des tâches de classification haptique (cf encadré, Figure 52), Berger et Hatwell (1993, 1995, 1996) ont observé un traitement des propriétés des objets différent dans la modalité haptique.

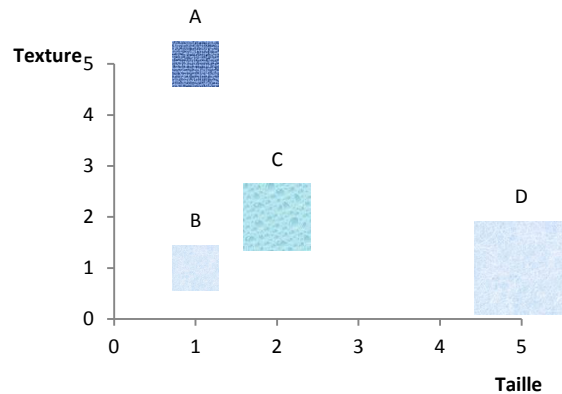


Figure 52. Illustration du matériel utilisé par Berger et Hatwell (1993, 1995, 1996) dans les tâches de classification haptique.

Le sujet explore un premier objet (B), puis, il doit choisir parmi trois autres objets celui qui s'assemble mieux avec l'objet B : un objet A (même texture que B), un objet D (même taille que B) et un objet C (texture et taille qui diffèrent un peu de B).

- *Si le sujet choisit l'objet C, il traite la forme et la texture simultanément, de manière « intégrée » et classe les objets par « similarité globale ».*
- *Si le sujet choisit les objets A ou D, il traite de manière préférentielle une des deux dimensions, de manière « séparée » et classe les objets par « classification dimensionnelle »*

(pour plus de détails voir Gentaz & Hatwell, 2000)

Les deux auteurs ne retrouvent pas chez les enfants voyants explorant sans voir un traitement intégré comme dans la modalité visuelle. Elles expliquent ce résultat par l'idée que les enfants raisonnent majoritairement sur une seule dimension de l'objet. Ce raisonnement est, comme nous l'avons déjà évoqué, dépendant de la manière dont ils explorent les objets. Par exemple, lorsqu'ils explorent des objets qui diffèrent par la taille et la texture, les enfants mettent en œuvre préférentiellement une PE spécifique au traitement de la texture (le *frottement latéral* ou *balayage*), il en résulte donc un classement des objets explorés sur la dimension texture, le traitement de la taille n'étant pas optimisé par la PE utilisée. De même, contrairement à ce qui est observé en modalité visuelle, les adultes qui classent des objets sur la base d'informations haptiques effectuent un classement davantage centré sur la similarité globale entre les objets (Berger & Hatwell, 1995). Les deux auteurs interprètent ces différences de traitement en démontrant que les bases perceptives de classification évoluent avec l'âge. Les enfants basent leurs classifications sur la perception résultant du contact initial

avec l'objet, alors que les adultes se basent sur les informations perceptives qu'ils récoltent à la fin de leur exploration. Dans la modalité visuelle, le premier contact avec l'objet donne une appréhension globale de l'objet, ce n'est que dans un second temps que les détails sont traités, d'où une perception intégrée chez les enfants et une perception séparée chez les adultes. En revanche, dans la modalité haptique, le premier contact avec l'objet donne accès à des informations morcelées qui vont être intégrées dans un second temps, à la fin de l'exploration, d'où une perception des propriétés séparée chez les enfants et une perception des propriétés intégrée chez les adultes.

Grâce aux informations fournies par la littérature, et en accord avec les types de reconnaissance obtenus dans notre expérience princeps présentés dans le 1^{er} chapitre de la 1^{ère} partie de cette thèse, nous nous attendons à observer des différences dans la manière de gérer les liens forme- texture des images tactiles en fonction de l'âge des enfants et de leur statut visuel. Les enfants les plus jeunes, avant 5-6 ans, devraient raisonner principalement sur la texture puis avec l'âge, sous l'impulsion de l'amélioration des processus perceptivo-moteurs de l'exploration haptique, ils devraient s'orienter vers un traitement préférentiel de la forme. Cette tendance à raisonner sur la forme devrait être encore plus forte chez les enfants aveugles.

Afin d'étudier l'influence de la forme et de la texture des images tactiles explorées, deux tâches expérimentales d'appariement ont été mises en place. La première, proposée aux enfants plus jeunes (entre 3 et 6- 7 ans), est une tâche d'appariement classique où l'enfant, après avoir exploré haptiquement une image tactile, doit choisir parmi trois images au choix (même forme, même texture et autre) l'image la plus proche de celle qu'il vient d'explorer. La seconde tâche, proposée aux enfants âgés de plus de 7ans, est une tâche de classification haptique similaire à la tâche utilisée par Berger et Hatwell dans leurs travaux (1993, 1995, 1996).

2. METHODE

2.1. SUJETS

Soixante-seize enfants âgés de 3 à 12 ans ont participé à cette expérience. Trente-quatre enfants sont porteurs d'un handicap visuel, et trente-six enfants voyants constituent le groupe contrôle.

Parmi les enfants *déficients visuels*, vingt d’entre eux sont atteints de cécité précoce (acuité visuelle inférieure à 1/60^{ème} après correction, catégories 4 et 5 de l’OMS¹⁸ et perte de la vue dans les deux premières années de vie). Les quatorze enfants restants sont atteints de malvoyance sévère (acuité visuelle comprise entre 1/20^{ème} et 1/60^{ème} après correction, catégorie 3 de l’OMS¹⁹). Aucun de ces enfants ne présente de troubles associés à la déficience visuelle (troubles praxiques et/ou cognitifs en particulier). Ces enfants sont accompagnés dans les centres avec lesquels nous avons déjà collaboré dans le cadre des précédents travaux présentés dans cette thèse. Le Tableau 30 détaille le nombre d’enfants rencontrés par établissement. Les expérimentateurs (dont l’auteur de ce travail de thèse) se sont rendus au sein des différentes structures pour procéder aux observations.

Tableau 27. Liste des établissements qui ont participé à la troisième expérimentation et nombre d’enfants par établissement.

Département ou pays	Ville	Nom de l’établissement	Nb d’enfants rencontrés
Allier	Yzeure	Institut des Jeunes Aveugles « Les Charmettes »	5
Haute Garonne	Toulouse	Institut des Jeunes Aveugles	2
	Ramonville Saint-Agne	Centre Lestrade	3
Loire Atlantique	Vertou	Institut des Hauts-Thébaudières	18
Lot	Cahors	Service Aide Soutien à l’Intégration	1
Morbihan	Auray	Service pour Jeunes Déficiants Visuels	2
Suisse	Lausanne	Centre pour Handicapées de la Vue	3

Concernant les enfants *voyants*, qui sont au nombre de trente-six, nous avons continué à travailler avec les mêmes écoles que pour les expériences précédentes : l’école maternelle Jean Jaurès à Lyon et l’école élémentaire Drapeau à Dijon. Aucun de ces enfants n’est atteint de troubles praxiques ou cognitifs, ou présente un retard ou une avance au niveau des apprentissages scolaires. Comme les enfants déficients visuels, leur langue maternelle est le français et ils évoluent dans un milieu socio-économique moyen.

Les passations se sont déroulées dans le respect de l’emploi du temps des enfants. Au préalable, les parents de chaque enfant ont signé la demande d’autorisation de participation à l’expérience²⁰. La fiche de renseignements, utilisée lors des expérimentations précédentes, a

¹⁸ Voir annexe 1 p. 239 pour plus de précisions sur les catégories OMS de la déficience visuelle

¹⁹ Ibid. p. 239

²⁰ Demande d’autorisation consultable en annexe p. 241

également été remplie par les parents, et/ou par les enseignants²¹. Les caractéristiques principales de l'échantillon d'enfants ayant participé à cette expérience sont illustrées dans le Tableau 28.

Les enfants ont été confrontés à un matériel expérimental différant en fonction de leur âge. Le groupe d'enfants âgés de 3 à 7 ans a exploré un premier set d'images : *les images forme*texture simples* et le groupe d'enfants plus âgés (entre 7 et 12 ans) a exploré un second set d'images : *les images forme*texture complexes*. Nous exposons les raisons de ce choix de matériel expérimental plus en avant, dans la partie « matériel » de ce chapitre. Au sein de ces deux groupes, les enfants déficients visuels sont distingués selon leur degré d'expertise haptique (débutant, intermédiaire, expert).

Tableau 28. Caractéristiques des enfants ayant participé à l'étude sur l'influence de la forme et de la texture des images tactiles sur leur compréhension (expérience 3).

Condition	Statut visuel Catégories OMS	Effectif	Age moyen (années ; mois) écart type (années ; mois)	Sexe	Expertise
Forme*Texture Simple	Aveugles	8	M=6; 10	4 filles	2 débutants
	Catégorie 4	2	1 ; 5	4 garçons	5 intermédiaires
	Catégorie 5	6			1 expert
	Malvoyants	9	M=6; 11	8 filles	1 débutant
			1 ; 11	1 garçon	3 intermédiaires
	Voyants	16	M=6 ; 6	8 filles	5 experts
			1 ; 2	8 garçons	
Forme*Texture complexe	Aveugles	12	M=10 ; 0	6 filles	0 débutant
	Catégorie 4	3	1 ; 7	6 garçons	4 intermédiaires
	Catégorie 5	9			8 experts
	Malvoyants	5	M=9 ; 7	4 filles	0 débutant
			2 ; 3	1 garçon	4 intermédiaires
	Voyants	20	M=9 ; 3	7 filles	1 expert
			1 ; 7	13 garçons	

Les principales causes du handicap visuel des enfants qui ont pris part à cette étude sont détaillées dans le Tableau 29. Les pathologies rétinienne sont la principale cause de la déficience visuelle (catégorie 3, $n=6$, catégories 4 et 5 de l'OMS, $n=9$). Notons que les origines de la cécité restent multiples et indéterminées pour un certain nombre d'enfants aveugles (catégorie 4 et 5, $n=6$).

²¹ Fiche de renseignements consultable en annexe p. 242.

Tableau 29. Etiologies des déficiences visuelles selon les catégories OMS pour les enfants participant à l'expérimentation sur l'influence de l'orientation des images tactiles sur leur compréhension (expérience 3).

Etiologies			Répartition selon catégories OMS (N)
Malformations oculaires		Microphtalmie	Catégorie 5=2
Pathologie des milieux transparents		Cataracte bilatérale congénitale	Catégorie 3=2
		Glaucome	Catégorie 3=1
			Catégorie 4=1
Pathologie rétinienne			Catégorie 5=1
		Rétinopathie	Catégorie 3=2
			Catégorie 4=1
			Catégorie 5=3
		Déficit de la limbe	Catégorie 3=2
		Amaurose de Leber	Catégorie 3=2
Atteintes du nerf optique			Catégorie 4=2
			Catégorie 5=3
		Gliome sur le nerf optique	Catégorie 3=1
Pathologie génétique		Malformation du nerf optique	Catégorie 3=1
			Catégorie 3=2
Etiologie inconnue			Catégorie 5=1
			Catégorie 3=1
			Catégorie 4=1
			Catégorie 5=5

2.2. MATERIEL

Images Forme*Texture « simples »

Au départ de cette étude, nous avons à notre disposition deux séries d'images tactiles (15 x 15 cm) fabriquées par la maison d'édition Les Doigts Qui Rêvent : une première série constituée de trois formes géométriques (triangle, carré, hexagone) et une seconde série composée de trois formes sémantiques (poire, tasse, cuillère). Chaque série se voit attribuée trois textures : feutrine, carton ondulé et bois pour les formes géométriques et mousse, fourrure et une texture métal pour les formes sémantiques. Nous obtenons donc pour chaque série trois formes et trois textures différentes, que nous avons appareillées afin d'obtenir un set de six images classées soit en fonction de la forme, soit en fonction de la texture (cf. Figure 53).

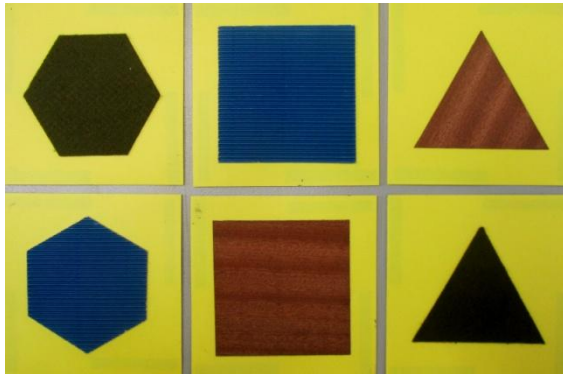
Ainsi, nous obtenons, pour la série de formes géométriques :

- un triangle en feutrine, un triangle en carton ondulé,
- un carré en bois, un carré en carton ondulé
- un hexagone en feutrine, un hexagone en carton ondulé.

Pour la série de formes sémantiques, nous avons :

- Des associations formes - textures congruentes : une poire lisse, un chien en fourrure, une cuillère en métal ;

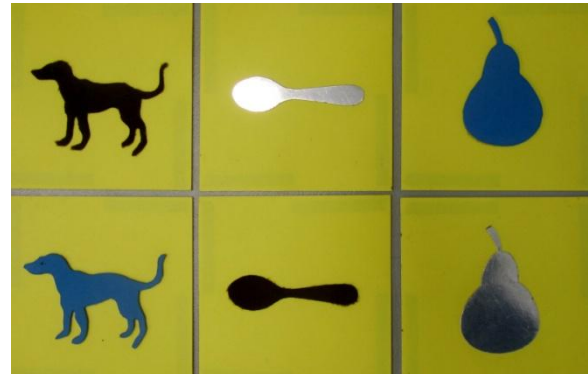
- Des associations formes – textures non congruentes : une poire en métal, un chien lisse, une cuillère en fourrure.



Formes Géométriques

Hexagone feutrine, carré carton ondulé, triangle bois

Hexagone carton ondulé, carré bois, triangle feutrine



Formes sémantiques

Chien fourrure, cuillère métal, poire mousse

Chien mousse, cuillère fourrure, poire métal

Figure 53. Illustration des images tactiles présentées aux enfants âgés de 3 à 6 ans.

Après les premières passations, nous nous sommes rendus compte que ce design expérimental était pertinent chez les jeunes enfants jusqu'à environ 6-7 ans, mais qu'il n'était pas adapté aux enfants plus grands, car trop simple. Nous avons donc imaginé un matériel plus complexe à l'usage des enfants âgés de 7 à 12 ans.

Images forme*texture « complexes »

Le matériel destiné aux enfants à partir de 7 ans se compose d'un set de 32 images tactiles plus petites (5 x 5 cm) représentant des formes géométriques polygonales ou arrondies, de complexité croissante (4 niveaux), dans des textures de saillance croissante (4 niveaux) en rapport avec le relief (formes polygonales) ou avec le grain (formes arrondies) (cf. Figure 54 et Tableau 30). Cet ensemble permet de tester les relations forme-texture sur un grand nombre d'items. La sélection des 4 niveaux de saillance des textures a été réalisée après un pré-test mené auprès d'adultes voyants à qui il a été demandé de classer une série de textures en fonction de leur saillance. Ce pré-test a été conduit pour les textures « relief » et les textures « grain ».

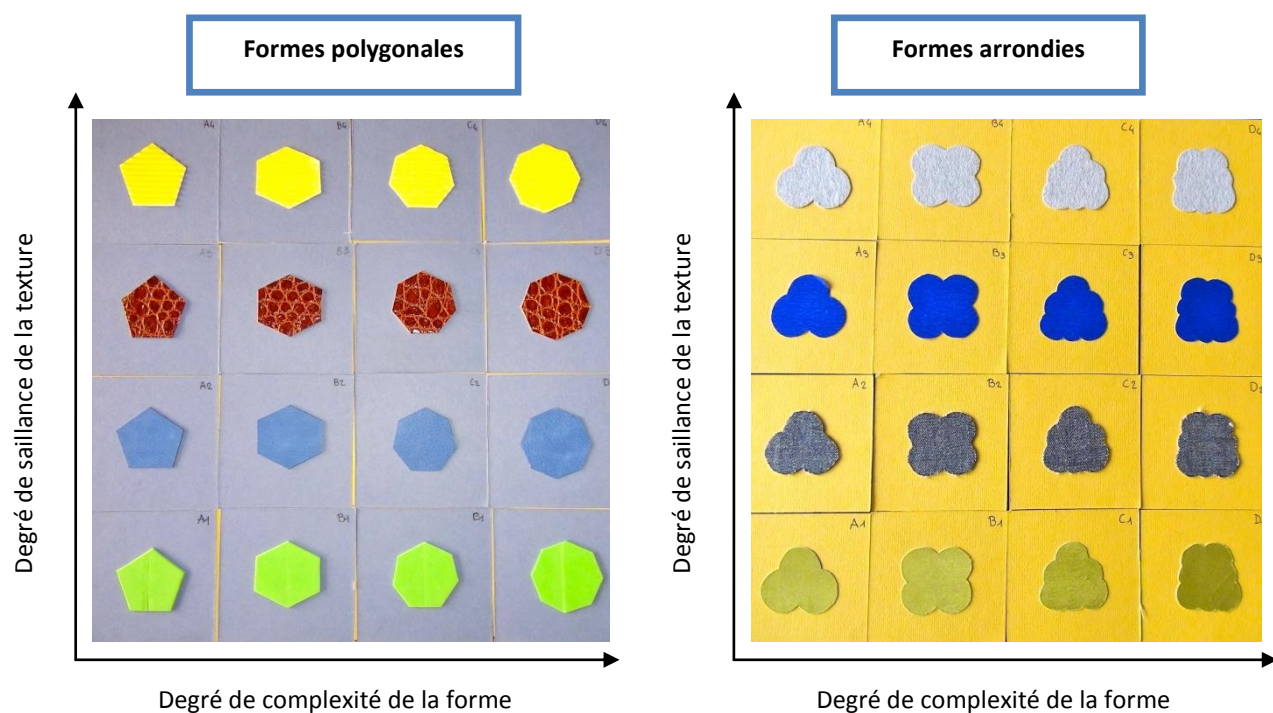


Figure 54. Illustration des deux sets d'images tactiles présentées aux enfants âgés de 7 à 12 ans.

Tableau 30. Détails des formes et textures des images tactiles présentées aux enfants âgés de 7 à 12 ans.

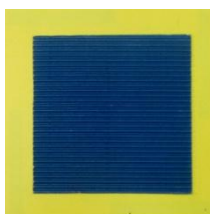
	Formes polygonales	Textures « relief »	Formes arrondies	Textures « grain »
Complexité	Pentagone	Mousse	3 arrondis	Satin
<i>Du moins</i>	Hexagone	Cuir avec asperities	4 arrondis	Toile de jean
<i>complexe au</i>	Heptagone	Cuir imitation croco	6 arrondis	Papier crépon
<i>plus</i>	Octogone	Carton nodule	7 arrondis	Papier de verre
<i>complexe</i>				

2.3. PROCEDURE

Afin d'étudier dans quelle mesure la forme et la texture interviennent dans le processus de reconnaissance d'une image tactile, nous présentons aux enfants différents patterns 2D, appareillables sur la forme et la texture: un ensemble de patterns est destiné aux enfants âgés de 3 à 7 ans, l'autre aux enfants de 7 à 12 ans. Pour les deux groupes, le dispositif expérimental est similaire (voir PARTIE1-Chapitre 1, 2.Méthode, 2.2. Matériel, p.57) : il est constitué d'un cache derrière lequel sont placées les images tactiles à explorer.

Pour *les enfants les plus jeunes* (jusqu'à l'âge de 7 ans), la tâche expérimentale est une tâche classique d'appariement. L'expérimentateur place derrière le cache une première image tirée au sort (*par exemple, un carré en carton ondulé*), et demande à l'enfant de bien l'explorer car il devra ensuite en explorer d'autres et dire laquelle ressemble le plus à la première. Il dispose d'une dizaine de secondes pour cette première exploration. L'image est ensuite retirée et remplacée par trois nouvelles images. Deux ont un lien avec la première image explorée : la même forme pour l'une (*par exemple, un carré en bois*), la même texture pour l'autre (*par exemple, un hexagone en carton ondulé*). La troisième image est de forme et de texture différente (*par exemple, un triangle en feutrine*). On demande à l'enfant de bien explorer ces trois images et de désigner celle qui ressemble le plus à la première image touchée. L'enfant doit ainsi appareiller les six images géométriques et les six images sémantiques, soit douze situations d'appariement au total. Un exemple d'une situation d'appariement est consultable à la Figure 55. Les images sont présentées de manière aléatoire, mais toujours en alternant géométrie et sémantique. La durée du temps d'exploration de la série de trois images n'est pas imposée et l'intégralité de la phase expérimentale est filmée.

Première image explorée



Images d'appariement proposées dans un second temps



Même texture



Même forme



Autre

Figure 55. Illustration d'une série d'images simples présentées aux enfants jusqu'à 7 ans (formes géométriques)

La tâche présentée aux *enfants plus âgés* (après 7 ans) suit le même principe que précédemment, avec un degré de complexité supérieur. Elle reprend le principe de la tâche de classification haptique utilisée par Berger et Hatwell dans leurs travaux sur la classification dimensionnelle dans la modalité haptique (1993, 1995, 1996). Les enfants explorent une première image, qu'ils devront par la suite appairer avec une image parmi une série. La série n'est cette fois pas constituée de trois images, comme pour les enfants plus jeunes, mais de cinq images. Ces cinq images ont un degré de similarité, du point de vue de la texture et de la forme, plus ou moins éloigné de la première image explorée. Ainsi, comme illustré dans la Figure 56, si la première image présentée à l'enfant est l'image avec le point rouge, la série d'images qu'il explorera par la suite sera constituée :

- d'une image avec exactement la même forme que la première et une texture éloignée,
- d'une image avec une forme qui diffère d'un degré et une texture qui reste éloignée,
- d'une image qui est éloignée par la forme et par la texture,
- d'une image éloignée par la forme, mais avec une texture qui diffère d'un degré,
- d'une image éloignée par la forme et une même texture.

Si l'image présentée en premier est celle avec le point rouge, alors la série d'images qui sera présentée par la suite sera constituée des cinq images désignées par les flèches.

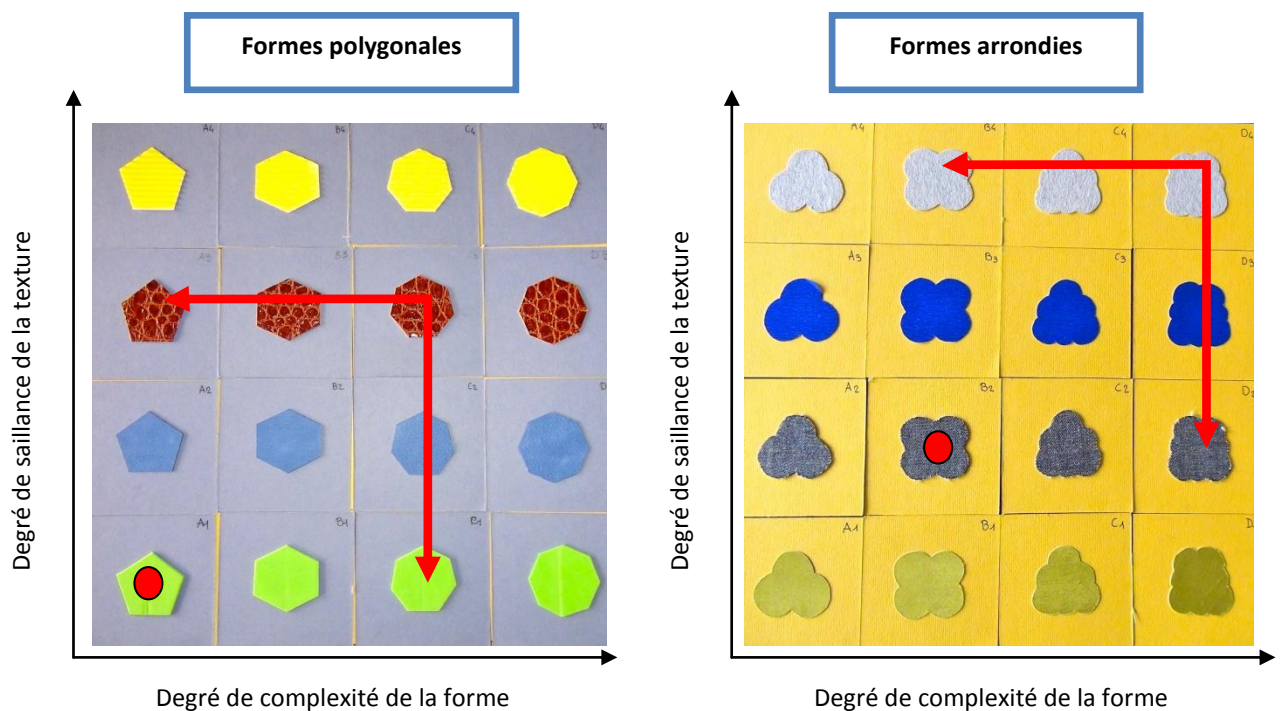


Figure 56. Illustration du principe appliqué pour choisir les images présentées aux enfants âgés de 6 à 12 ans.

La longueur du test ne permettant pas d'appareiller les trente-deux items, nous en avons sélectionné huit (quatre formes polygonales de quatre textures différentes, et quatre formes arrondies de quatre textures différentes), comme le montre la Figure 57. Les items sont toujours présentés dans le même ordre, de la forme la plus simple à la forme la plus complexe, en alternant polygones et formes arrondies. Comme pour les enfants âgés de 3 à 6 ans, la durée du temps d'exploration de la série de cinq images n'est pas imposée et l'intégralité de la phase expérimentale est filmée.

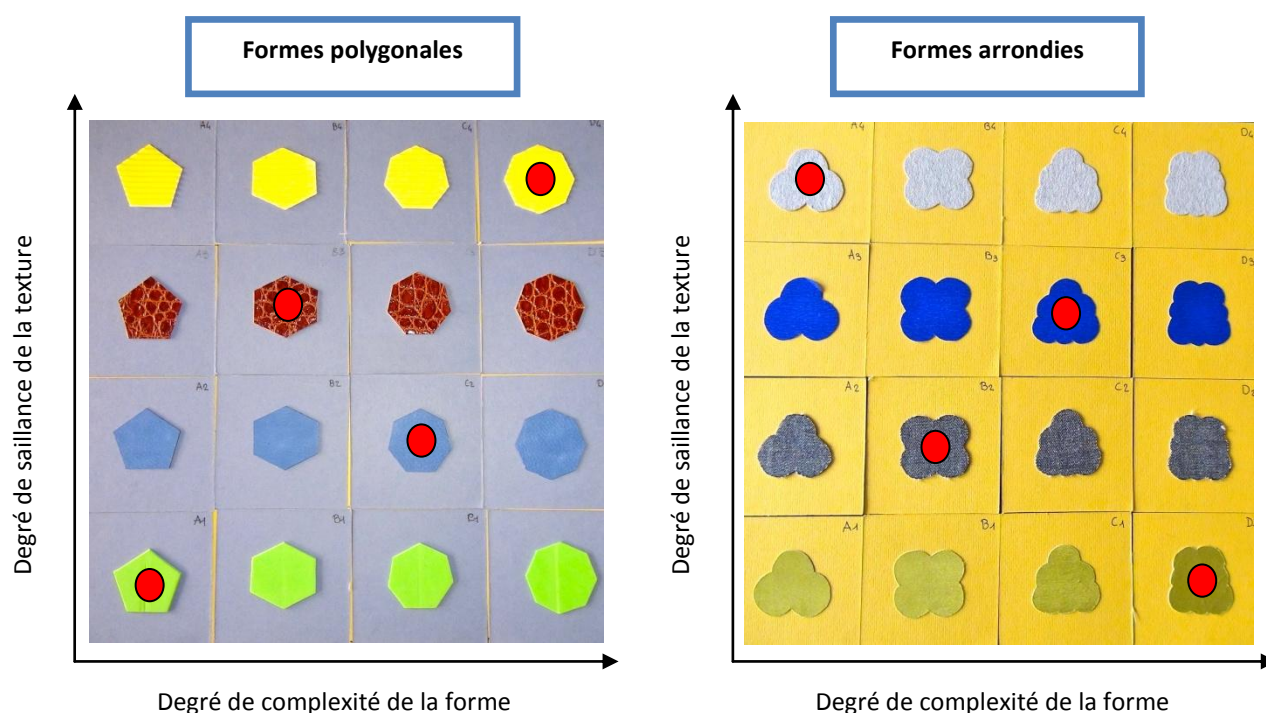


Figure 57. Illustration des huit items tactiles à appareiller par les enfants âgés de 6 à 12 ans (points rouges).

2.4. DONNEES ANALYSEES

Images forme*texture « simples »

Dans la condition *forme*texture simple*, les enfants sont confrontés à trois choix d'appariement : appariement sur la forme, appariement sur la texture et autre. Les réponses données par les enfants ont été codées de la manière suivante :

- Appariement sur la forme : 1
- Appariement sur la texture : -1
- Autre : 0

Tout d'abord, dans l'objectif d'une analyse globale, un score moyen d'appariement pour les réponses « forme » et « texture » a été calculé, pour les images géométriques d'une part (**6 images** : triangle, hexagone, carré, chacune représenté dans deux textures différentes : feutrine, bois et/ou carton ondulé) et sémantiques d'autre part (**6 images** : poire, chien, cuillère, chacune représenté dans deux textures différentes, une congruente et une non congruente : mousse, poils et/ou métal). A partir de ces moyennes, nous avons calculé une variable que nous avons appelé *biais pour la forme*. Cette variable est le résultat de la différence entre le score moyen forme (1) et le score moyen texture (-1) reporté à la somme du score moyen forme et du score moyen texture. Cette variable permet de simplifier les analyses, en faisant une analyse globale « forme-texture ». Elle a été calculée pour les images géométriques d'une part et les images sémantiques d'autre part. Elle a été traduite sous forme d'un pourcentage, et les valeurs sont comprises entre 100% (appariement exclusif sur la forme) et -100% (appariement exclusif sur la texture).

A partir du codage des réponses d'appariement fournies par les enfants, d'autres scores ont été calculés afin d'affiner l'analyse. Ainsi, concernant les images sémantiques et pour étudier l'impact de la congruence texture-forme sur la dimension préférée d'appariement, nous avons calculé le score moyen d'appariement pour les images congruentes (poire en mousse, chien en poils et cuillère en métal) et incongruentes (poire en métal, chien en mousse, cuillère en poils). Les scores moyens sont répartis entre 1 (appariement exclusif sur la forme) et -1 (appariement exclusif sur la texture). Afin de déterminer si une forme en particulier facilite le traitement de la forme ou si une texture bien spécifique suscite un traitement par la texture, nous avons calculé un score moyen d'appariement pour chaque forme et pour chaque texture. Nous obtenons ainsi six scores d'appariement pour les formes (triangle, hexagone, carré, poire, chien, cuillère) et six scores d'appariement pour les textures (bois, carton ondulé, feutrine, métal, mousse, poils). Les scores moyens sont également répartis entre 1 (appariement exclusif sur la forme) et -1 (appariement exclusif sur la texture).

*Images forme*texture « complexe »*

Dans la condition *forme*texture complexe*, les enfants sont confrontés à cinq choix d'appariement : même forme, forme proche, même texture, texture proche, autre. Les réponses données par les enfants ont été codées de la manière suivante :

- Même forme : 2

- Forme proche : 1
- Même texture : -2
- Texture proche : 2
- Autre : 0

Sur le même principe que dans la condition forme*texture simple, les réponses données ont d'abord été traitées de manière globale. La variable *biais pour la forme* a été calculée selon le même procédé que celui adopté avec les formes simples : nombre de réponses en faveur de la forme (2) moins nombre de réponses en faveur de la texture (-2) sur la somme de ces réponses. Sa valeur est comprise entre 100% (appariement exclusif sur la forme) et -100% (appariement exclusif sur la texture).

D'autres scores ont aussi été calculés. Afin d'évaluer si les préférences d'appariement en termes de forme ou de texture sont sensibles à la complexité croissante de la forme et/ou à l'intensité de la texture, nous avons calculé des scores moyens d'appariement pour chaque degré de complexité de la forme d'une part (4 degrés de complexité) et pour chaque degré d'intensité de la texture d'autre part (4 degrés d'intensité de la texture). Les scores sont répartis entre 4 (appariement exclusif sur la forme) et -4 (appariement exclusif sur la texture).

3. RESULTATS

Les appariements effectués par les enfants ont été analysés à l'aide d'ANOVAS à mesures répétées. Des analyses séparées ont été menées pour les deux conditions « simple » et « complexe ». Le principe d'analyse est le même pour les deux conditions. Une analyse globale de la variable *biais pour la forme* a été réalisée, avec comme facteur inter-sujets le statut visuel (aveugle, malvoyant et voyant) et comme facteur intra-sujet le type de forme (forme sémantique et forme géométrique) pour la condition « simple ». Afin de déterminer si la préférence pour la forme est significative, des comparaisons avec le niveau 0 de préférence ont été effectuées à l'aide de *t* de Student. Puis une série d'analyses détaillées ont été menées (ANOVAS à mesures répétées) avec, pour la condition « simple », comme facteurs intra sujet, la congruence des formes sémantiques (congruent, non congruent) d'une part, le type de forme d'autre part géométrique (quatre formes) et sémantique (quatre formes), et pour la condition complexe, la complexité de la forme (quatre degrés de complexité) et l'intensité de la texture (quatre degrés d'intensité). Seul le facteur inter-sujets *statut visuel* a été pris en

compte dans ces analyses, la taille des échantillons ne permettant pas d'introduire d'autres facteurs inter-sujets, notamment *l'expertise haptique* chez les enfants DV.

Nous commencerons par présenter les résultats relatifs à la condition « simple », puis nous détaillerons ceux obtenus dans la condition « complexe ».

3.1. IMPACT DES PROPRIETES DE L'IMAGE TACTILE SUR SA COMPREHENSION CHEZ LES ENFANTS DE 3 A 7 ANS : CONDITION « SIMPLE »

- Analyse globale : biais pour la forme ou pour la texture

Selon la littérature (Klein, 1966 ; Gliner, Pick, Pick, & Hales, 1969 ; Siegel & Vance, 1970 ; Berger & Hatwell, 1993, 1996 ; Kalagher & Jones, 2011) et les performances de reconnaissances obtenues dans notre expérience princeps, nous nous attendons à ce que les enfants de moins de 7 ans aient plus tendance à se baser sur la texture pour effectuer leurs appariements que sur la forme. Cette tendance devrait être plus forte chez les enfants atteints du handicap visuel le plus sévère. Rappelons que ce sont les enfants aveugles qui ont fait le plus de reconnaissances basées sur la texture dans la première expérience.

Comme le montre la Figure 58, les résultats obtenus, quels que soient le statut visuel et le type de forme explorée, présentent tous une valeur positive, semblant traduire un biais pour la forme. Cependant, nous ne pouvons affirmer cette préférence car ces scores ne diffèrent pas significativement du niveau 0 d'appariement, $t_s < 1,5$, $p_s > .15$.

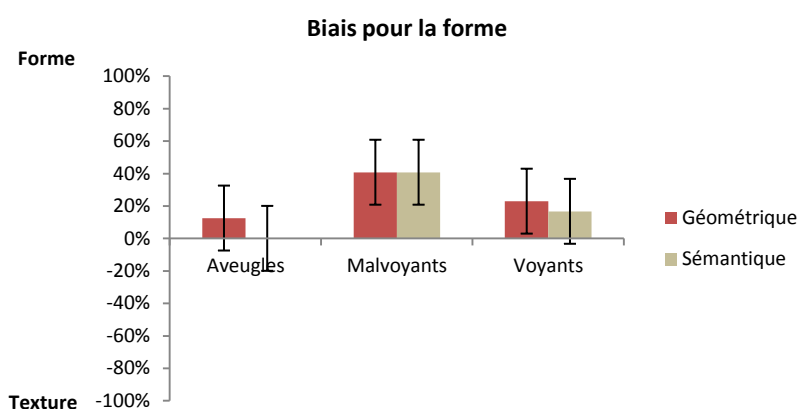


Figure 58. Biais pour la forme en fonction du statut visuel et du type de forme (pourcentages et erreurs types).

Les enfants aveugles et les enfants voyants ont plus tendance à raisonner sur la base de la forme lorsque les formes sont géométriques, alors qu'il n'y a pas de différence pour les enfants malvoyants. Cependant, aucune interaction n'est révélée par l'ANOVA, $F < 1$, et un t

de Student ne montre aucune différence significative entre formes géométriques et formes sémantiques chez les enfants aveugles comme chez les enfants malvoyants, $t_s < 1$. Les enfants malvoyants de 3 à 7 ans manifestent une tendance à préférer la forme comparativement aux enfants aveugles et voyants, mais les différences ne sont pas significatives, $t_s < 1$.

Afin de tester un éventuel effet de l'âge sur les préférences d'appariement haptique, nous avons introduit un facteur âge dans l'ANOVA. Cinq ans étant plus spécifiquement l'âge charnière majoritairement observé dans la littérature pour le changement entre traitement haptique basé sur la texture et traitement haptique basé sur la forme (Klein, 1963, 1966 ; Gliner, Pick, Pick, & Hales, 1969 ; Siegel & Vance, 1970 ; Berger & Hatwell, 1993, 1996 ; Kalagher & Jones, 2011), nous avons réparti les sujets en deux groupes d'âge : les 3-5 ans ($n=17$) et les 6-7 ans ($n=16$). L'analyse révèle effectivement un effet de l'âge, $F(1, 27) = 4.1$, $p = .05$, mais aucune interaction avec le statut visuel ou le type de forme explorée n'apparaît, $F_s < 1$. Les résultats obtenus sont illustrés dans la Figure 59.

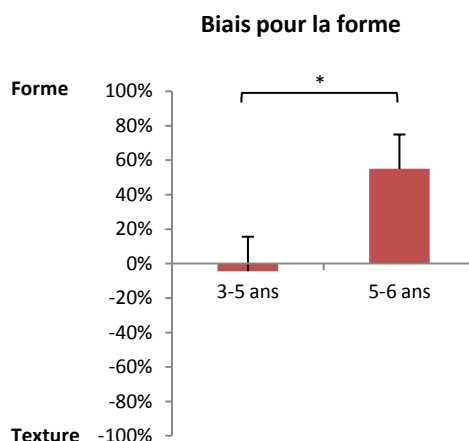


Figure 59. Biais pour la forme en fonction de l'âge (pourcentages et erreurs types).

Ainsi, les enfants âgés de moins de 5 ans ne présentent pas de biais pour la forme, alors que les enfants âgés de plus de 5 ans témoignent d'un biais pour la forme qui s'écarte significativement de la valeur 0 d'appariement d'après un test t de Student, $t(30) = 2.59$, $p < .001$.

- Analyse détaillée des performances d'appariement

Procédons à présent à une analyse plus détaillée des préférences pour la forme et/ou la texture dans le traitement des images tactiles.

Concernant les formes sémantiques, rappelons que la moitié des items tactiles explorés par les enfants sont congruents au niveau de la forme et la texture (poire en mousse, cuillère en métal et chien en poils) et que l'autre moitié des items est incongruente (poire en métal, cuillère en poils et chien en mousse). Quel peut être l'effet d'une congruence entre la forme et la texture ? Nous supposons qu'une texture congruente avec la forme peut faciliter le traitement de cette dernière en favorisant un traitement intégré des deux dimensions, bénéfique à la compréhension haptique de l'image explorée. Si tel est le cas, dans la condition congruente, il y aura une préférence pour la forme, alors qu'en condition incongruente, la texture pourrait prendre le dessus.

Aucun effet de la congruence de l'image tactile n'est observé sur les appariements effectués par les enfants les plus jeunes, $F < 1$. Ce résultat est illustré par la Figure 60, où l'on observe des scores équivalents en fonction de la congruence ou non des propriétés (forme/texture congruentes : $M = 0.25$; forme/texture incongruentes : $M = 0.19$).

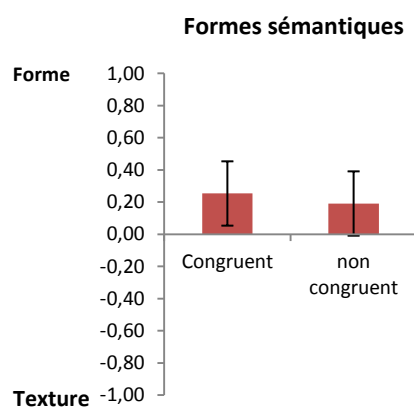


Figure 60. Appariement sur la forme ou la texture en fonction de la congruence de l'image tactile explorée (scores moyens et erreurs types).

Ce résultat ne change pas selon le statut visuel des sujets. Ainsi, comme le montre la Figure 61, que l'on considère les enfants aveugles, malvoyants ou voyants, la congruence forme/texture de l'image explorée n'influence pas la préférence d'appariement, $F < 1$.

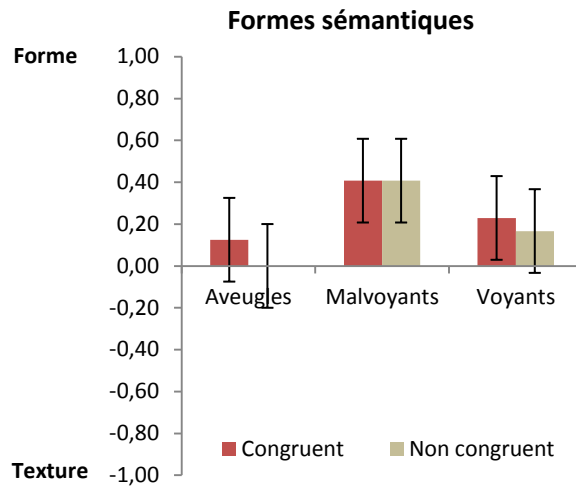


Figure 61. Appariement sur la forme ou la texture en fonction de la congruence de l'image tactile explorée et du statut visuel (scores moyens et erreurs types).

Allons maintenant plus loin dans notre analyse en prenant en compte les différentes formes représentées sur les images tactiles. Les formes sont au nombre de six (*triangle*, *carré*, *hexagone*, *poire*, *cuillère*, *chien*). Une forme en particulier faciliterait-elle le traitement par la forme ? Les résultats reportés dans la Figure 62 répondent par la négative à cette interrogation. Quelle que soit la forme explorée, le score moyen est compris entre 0.17 et 0.28, et les différences ne sont pas significatives, $F < 1$. Chacun de ces scores ne diffère pas significativement du niveau 0 d'appariement, $t_s < 1.5$, $p_s > .15$.

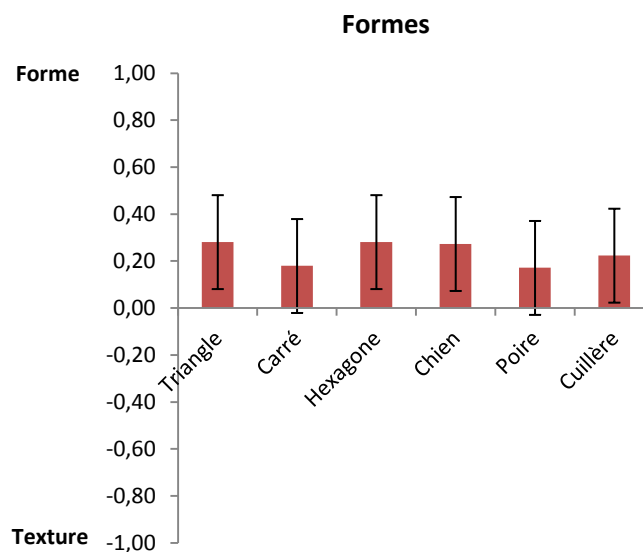


Figure 62. Appariement sur la forme ou la texture en fonction du type de forme représenté sur l'image tactile explorée (scores moyens et erreurs types).

A nouveau, la prise en compte du statut visuel ne modifie pas ces résultats. La Figure 63 montre que chez les enfants aveugles, l'image qui suscite le plus un traitement par la forme est l'*hexagone* (score moyen = 0.37) et celle qui entraîne une tendance à appairer sur la base de la texture est le *carré* (score moyen = -0.12), mais aucune des différences observées en fonction des différentes formes ne sont significatives, et aucun score ne diffère significativement du degré 0 d'appariement, $t_s < 1$. Cette conclusion est également valable pour les enfants voyants, qui montrent des performances d'appariement plus centrées sur la forme lorsqu'ils explorent le *chien* (score moyen = 0.31) et moindres lorsqu'ils explorent l'*hexagone* (score moyen = -0.07). Cependant, ces scores ne diffèrent pas significativement des scores d'appariement moyens avec les autres formes explorées, et une fois encore, aucun score ne s'écarte significativement du degré 0 d'appariement, $t_s < 1$. Concernant les enfants malvoyants, les scores d'appariement sont à peu près équivalents, quelle que soit la forme explorée (scores moyens compris entre 0.39 et 0.50), $t_s < 1$, et aucun ne diffère significativement du degré 0 d'appariement, $t_s < 1$.

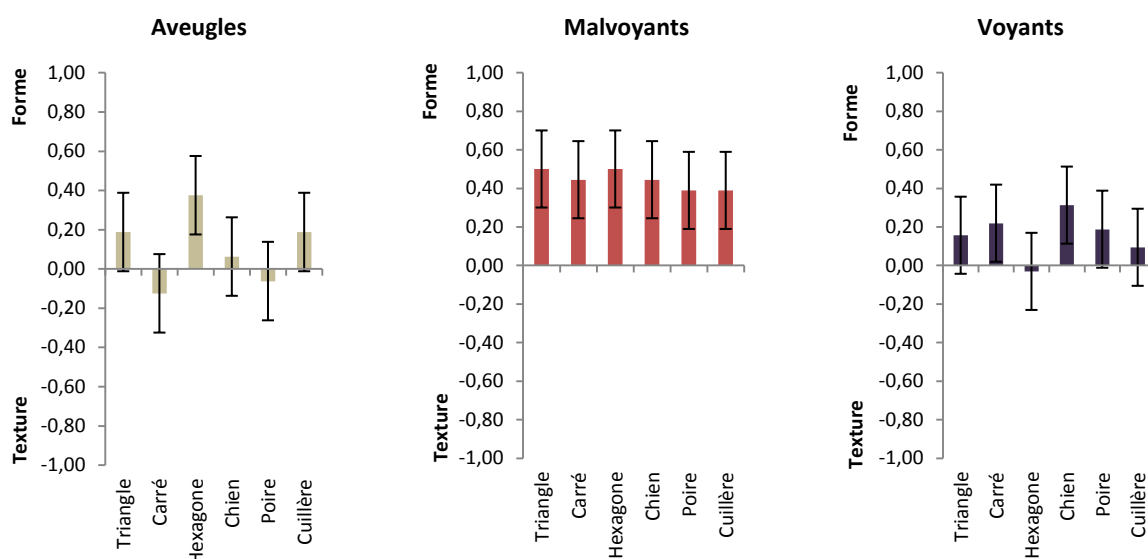


Figure 63. Appariement sur la forme ou la texture en fonction du type de forme représentée sur l'image tactile explorée et le statut visuel (scores moyens et erreurs types).

Observons pour terminer les différentes réponses d'appariement données par les enfants les plus jeunes de notre échantillon selon les textures constituant les images tactiles explorées. Elles sont au nombre de six (bois, feutrine, carton ondulé, mousse, métal, poils).

Une de ces textures suscite-t-elle un traitement de l'information haptique sur la base de la texture ? A l'instar des résultats commentés précédemment, aucun effet du type de texture n'est mis en évidence par l'ANOVA, $F < 1$. La Figure 64 indique que les scores moyens d'appariement selon la texture sont à peu près équivalents (compris entre 0.10 et 0.27), et aucun ne diffère significativement du degré 0 d'appariement, $t_s < 1$.

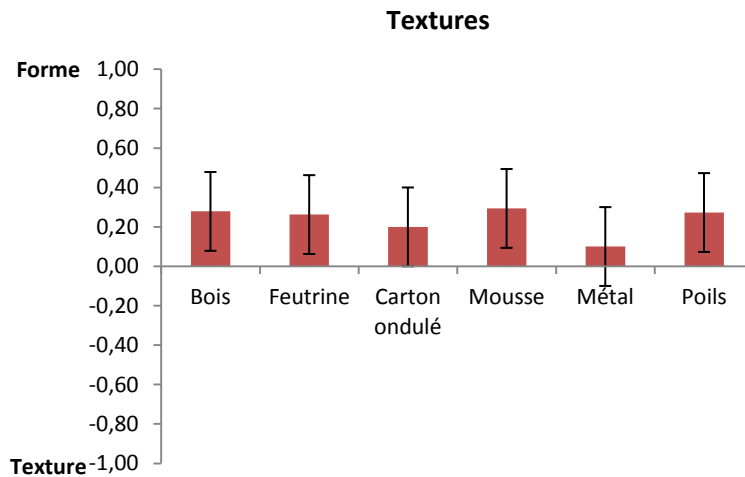


Figure 64. Appariement sur la forme ou la texture en fonction du type de texture utilisée sur l'image tactile explorée (scores moyens et erreurs types).

La Figure 65 spécifie que, chez les enfants malvoyants, aucune préférence d'appariement ne semble ressortir en fonction des textures. Quelle que soit la texture, ils semblent être plus enclins à raisonner sur la forme, mais cette affirmation est tendanciellement vraie uniquement pour la texture *bois* (score moyen = 0.55), $t(16) = 1.0$, $p = .07$. Chez les enfants aveugles et voyants, les résultats apparaissent plus contrastés. Ainsi, concernant les enfants aveugles, le *bois* (score moyen = -0.06) semble être la texture la moins favorable au traitement de la forme, à l'inverse de la *feutrine* et du *carton ondulé* (scores moyens = 0.25). Concernant les enfants voyants, c'est le *carton ondulé* (score moyen = -0.09) qui paraît être le moins susceptible de favoriser le traitement de la forme, contrairement au *bois* (score moyen = 0.34), à la *mousse* et aux *poils* (scores moyens = 0.31). Cependant, une analyse de ces différents résultats avec le test t de Student ne confirme pas ces observations, $t_s < 1$. De plus, aucun des scores d'appariements moyens obtenus par les enfants aveugles et voyants en fonction de la texture ne diffère significativement du degré 0 d'appariement, $t_s < 1$.

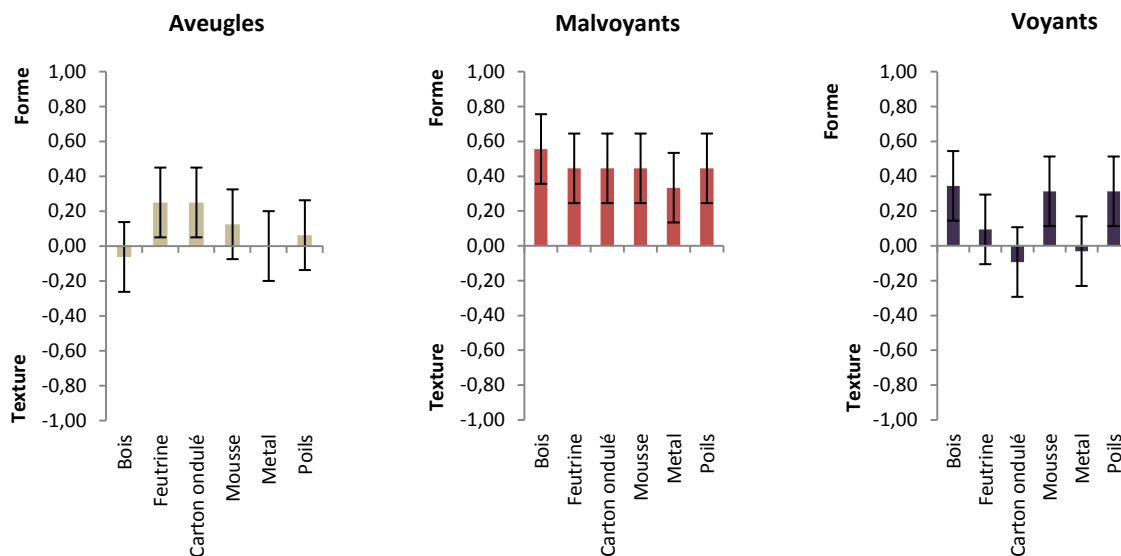


Figure 65. Appariement sur la forme ou la texture en fonction du type de texture utilisé sur l'image tactile explorée et du statut visuel (scores moyens et erreurs types).

Nous n'observons donc pas d'effet de la forme et/ou de la texture sur le traitement des images tactiles chez les enfants âgés entre 3 et 7 ans, quel que soit le degré de leur handicap visuel. En sera-t-il de même chez les enfants plus âgés ?

3.2. IMPACT DES PROPRIETES DE L'IMAGE TACTILE SUR SA COMPREHENSION CHEZ LES ENFANTS DE 7 A 12 ANS : CONDITION « COMPLEXE »

- Analyse globale : biais pour la forme

Toujours d'après les mêmes auteurs (Klein, 1966 ; Gliner, Pick, Pick, & Hales, 1969 ; Siegel & Vance, 1970 ; Berger & Hatwell, 1993, 1996 ; Kalagher & Jones, 2011), nous pourrions nous attendre à ce que les enfants âgés de plus de 7 ans montrent un raisonnement plus centré sur la forme que sur la texture pour effectuer leurs appariements. Cette tendance pourrait être moins forte chez les enfants aveugles, qui ont donné le plus de reconnaissances basées sur la texture dans notre première expérience.

Les résultats ne vont pas dans le sens de nos hypothèses. Ainsi, comme le montre la Figure 66, un biais pour la forme, significatif selon le statut visuel, émerge, $F(2,34) = 3.40$, p

$< .05$. Les enfants malvoyants traitent de manière préférentielle la forme alors que les enfants voyants manifestent une préférence nette pour la texture dans leurs appariements.

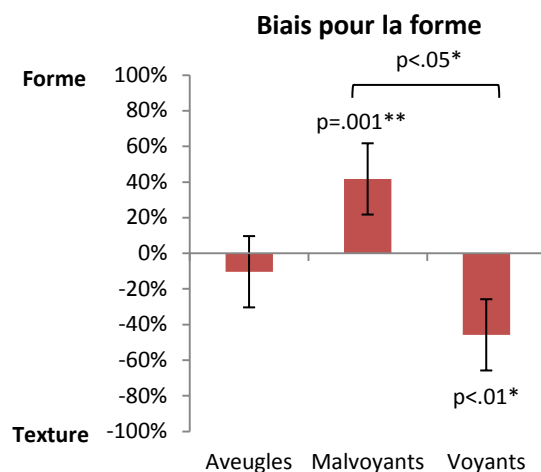


Figure 66. Biais pour la forme en fonction du statut visuel et du type de forme (pourcentages et erreurs types).

Un test post hoc (HSD de Tukey) confirme la différence significative entre ces deux groupes d'enfants, $p < .05$. Notons que le biais d'appariement présenté par les enfants malvoyants comme les enfants voyants se distingue significativement du degré 0 d'appariement, $t_s > 2.70$, $p < .01$.

- Analyse détaillée des performances d'appariement

Rappelons que quatre degrés de complexité de la forme et quatre degrés d'intensité de la texture ont été définis pour l'ensemble des items utilisés avec les enfants plus âgés. Le degré de complexité et/ou l'intensité de la texture ont-ils un impact sur les préférences d'appariement de ces enfants? Nous pouvons penser que plus les formes deviennent complexes, plus l'appariement sera basé sur la texture. De même, plus l'intensité de la texture augmente, plus le traitement sur la base de la texture sera favorisé.

Lorsque l'on observe les scores moyens obtenus, tous statuts visuels confondus, on se rend compte qu'ils varient peu en fonction de la complexité des formes explorées et de l'intensité des textures qui les composent. Ces résultats sont présentés dans la Figure 67. Cependant, en accord avec nos hypothèses, lorsque la forme devient complexe (niveaux C et D) et lorsque la texture s'intensifie (niveaux 3 et 4), les scores moyens d'appariement se retrouvent en négatif, donc du côté d'une préférence d'appariement pour la texture.

L'ANOVA ne confirme toutefois pas ces observations, $F_s(3, 102) < 2.18, p > .05$. Que ce soit pour la complexité de la forme ou l'intensité de la texture, les appariements sur la base de la forme et sur la base de la texture se compensent car les scores moyens obtenus sont proches de 0 (scores moyens d'appariement compris entre 0.45 et 0.20).

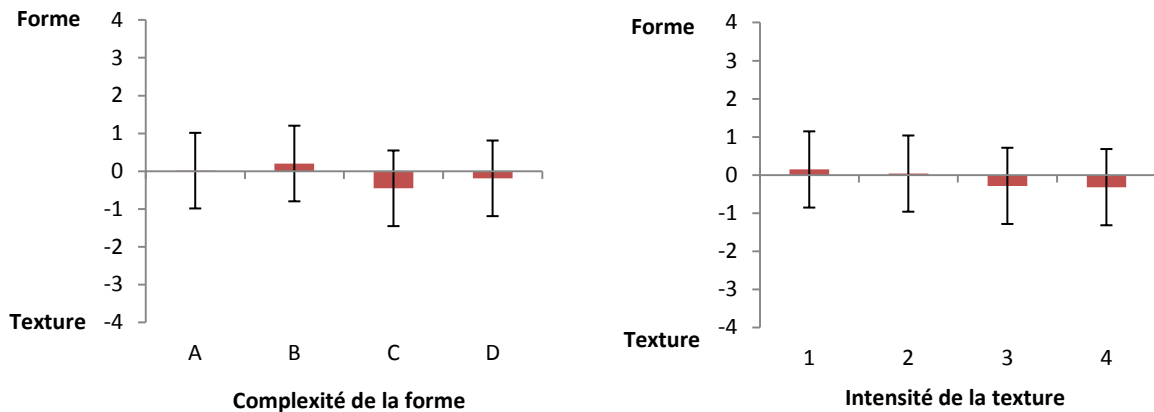


Figure 67. Appariement sur la forme ou la texture en fonction du degré de complexité de la forme et du degré d'intensité de la texture (scores moyens et erreurs types).

Observons, à présent, l'effet de la complexité de la forme et de l'intensité de la texture sur les scores moyens d'appariement en fonction du statut visuel. Les ANOVAS à mesures répétées n'ont révélé aucune interaction entre le statut visuel et le niveau de complexité de la forme d'une part et le degré d'intensité de la texture d'autre part, $F_s < 1$. Nous avons cependant analysé à l'aide du test t de Student les différences entre les scores moyens d'appariement obtenus pour chaque groupe en fonction de la complexité de la forme et de l'intensité de la texture avec le degré 0 d'appariement. Sur la Figure 68, on voit que chez les enfants aveugles, lorsque le niveau de complexité de la forme augmente et que le degré de texture s'intensifie, les scores moyens d'appariements ont tendance à aller vers des valeurs négatives, dénotant une préférence d'appariement sur la texture. Cependant, le test t de Student ne met pas en avant de différences significatives avec le degré 0 d'appariement. Chez les enfants malvoyants et chez les enfants voyants, lorsque le niveau de complexité de la forme augmente et que le degré de texture s'intensifie, la tendance à apparier sur la base de la forme diminue chez les enfants malvoyants et la tendance à apparier sur la base de la texture augmente chez les enfants voyants. Le test t de Student met effectivement en avant que chez

les enfants malvoyants, le *niveau B* de complexité de la forme et les *degrés 1* et *2* d'intensité de la texture entraînent des scores significativement différents du degré 0 d'appariement, $t_s(8) > 2.10, p_s < .05$.

Chez les enfants voyants, les différences sont encore plus nettes. A partir du *niveau B* de complexité de la forme et du *degré 2* d'intensité de la forme, les scores d'appariement diffèrent significativement du degré 0 d'appariement, en faveur de la texture, $t_s(38) > 2.10, p_s < .05$.

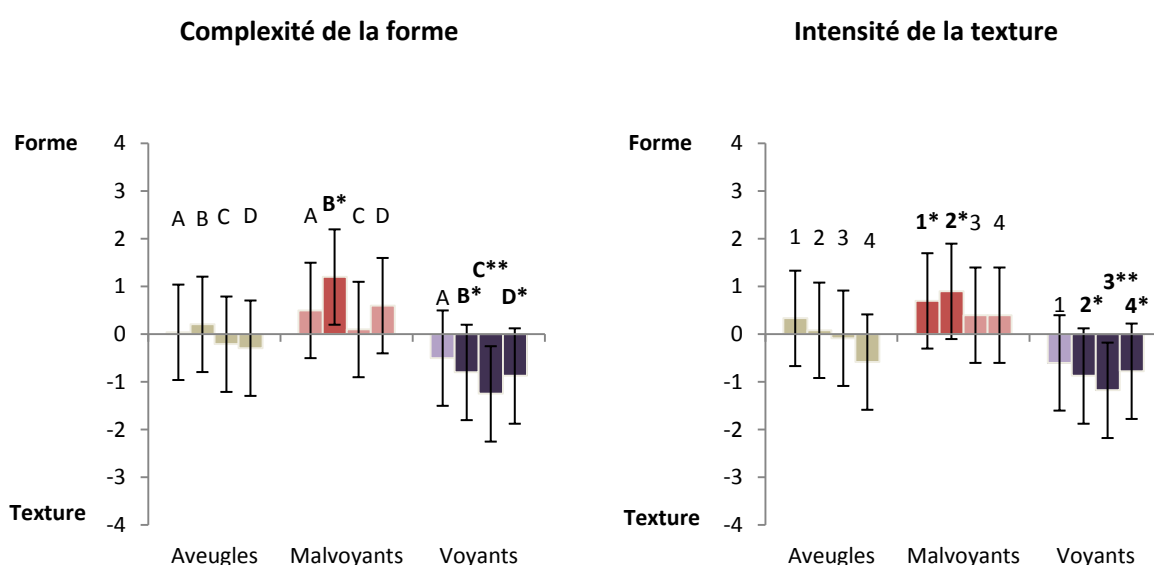


Figure 68. Appariement sur la forme ou la texture en fonction du degré de complexité de la forme et du degré d'intensité de la texture selon le statut visuel (scores moyens et erreurs types).

4. DISCUSSION

En lien avec notre problématique de construire des images tactiles qui soient les plus accessibles possible aux enfants déficients visuels, ce dernier chapitre avait pour objectif de déterminer l'influence de deux propriétés essentielles des images tactiles sur le traitement haptique : la forme et la texture.

Les études confrontant l'impact de la forme d'une part et de la texture d'autre part sont rares, quasi inexistantes chez le public déficient visuel (enfants comme adultes). Cependant, d'après certains travaux (Klein, 1966 ; Gliner, Pick, Pick, & Hales, 1969 ; Siegel & Vance, 1970 ; Berger & Hatwell, 1993, 1996 ; Kalagher & Jones, 2011), ainsi que les types de reconnaissances fournies par les enfants dans la première expérience, nous nous attendions à

observer une saillance de la texture chez les enfants les plus jeunes. Avec l'âge, nous supposons que les enfants baseraient davantage leur traitement haptique sur la forme. Cette hypothèse est en partie validée. Nous observons en effet que les enfants âgés de moins de 5 ans ne raisonnent pas de manière systématique sur la forme, à l'inverse des enfants plus âgés qui montrent une nette préférence pour l'appariement sur la forme. Il semble donc que le raisonnement sur la forme soit perturbé par la texture chez les enfants les plus jeunes. Ce type d'interférence perceptive entre deux dimensions d'un objet a déjà été observé chez de jeunes enfants voyants dans des tâches de jugement visuel (Brian & Goodenough, 1929 ; Suchman & Trabasso, 1966 ; Corah, 1966). Cette influence d'une dimension sur l'autre chez les jeunes enfants voyants peut notamment s'expliquer par une faiblesse de la perception différenciée (Shepp & Swartz, 1976), une difficulté à se focaliser sur les informations pertinentes (Drucker & Hagen, 1969) et à inhiber les informations non pertinentes (Kemler & Smith, 1978). Ces dimensions d'immaturité cognitive sont sûrement à l'œuvre dans la modalité haptique au niveau de la perception de la forme et de la texture, ce qui constitue une piste d'interprétation des résultats. S'ajoute probablement une immaturité motrice, relative à la mise en œuvre des PE optimales pour traiter la forme de l'objet (comme le *suivi de contour*), PE qui sont justement plus complexes du point de vue des mouvements à effectuer et de la coordination nécessaire pour être réalisées. Il serait intéressant de coder les PE mises en œuvre par les enfants ayant passé la condition « *forme*texture simple* » pour vérifier cette hypothèse, bien que, comme déjà mentionné, les enfants avant 5-6 ans ne semblent pas en mesure d'utiliser les informations obtenues par le *suivi de contour* pour raisonner sur la forme de l'objet exploré (Schwaezer, Küfer, & Wilkening, 1999). Il est en effet important de rappeler une difficulté supplémentaire relative au traitement de l'information en haptique due à son caractère intrinsèquement séquentiel, ce qui requiert une intégration de l'information récoltée pas à pas pour accéder à la forme globale.

Le degré de handicap visuel révèle également une influence sur la manière d'appréhender la forme et la texture en haptique, mais cela uniquement chez les enfants plus âgés. En effet, dans la condition « *forme*texture complexe* », les enfants malvoyants sont davantage enclins à réaliser des appariements sur la forme, alors que les enfants voyants montrent un traitement très nettement orienté par la texture. Concernant les enfants aveugles, ils oscillent entre les deux types d'appariement, tout en ayant un léger biais pour la texture. Les préférences de traitement de la forme ou de la texture selon le degré de handicap visuel sont confortées avec le degré de complexité de la forme et le niveau d'intensité de la texture. Le raisonnement sur la forme chez les enfants malvoyants est d'autant plus fort que la forme

est moins complexe et la texture plus simple. Chez les enfants voyants, la complexité de la forme, cumulée à l'intensité de la texture, les incitent à moins se centrer sur la forme et à davantage se focaliser sur la texture.

Cette différence de traitement plus axé sur la forme ou sur la texture selon le statut visuel est un des résultats marquants de ce dernier chapitre. Il met en avant que la présence d'un handicap visuel impacte directement le traitement haptique, les propriétés de l'image explorée n'étant pas appréhendées de la même façon chez les enfants aveugles, malvoyants et voyants.

Nous proposons d'interpréter ces observations tout d'abord en termes de complexité du traitement haptique. Les enfants voyants qui explorent des formes géométriques texturées bidimensionnelles se focalisent sur la dimension la plus accessible : la texture. Dans un contexte asémantique et sans aucune information visuelle, les enfants voyants, pour qui la modalité haptique n'est pas la modalité perceptive privilégiée pour percevoir les informations spatiales telles que la forme, restent centrés sur la texture, propriété particulièrement bien perçue par la modalité haptique. Ils semblent donc avoir des difficultés à gérer l'intégration des informations relatives à la forme perçues de manière séquentielle. En revanche, les enfants malvoyants mettent en œuvre un traitement de l'information haptique plus complexe. Ils ne se limitent pas à la dimension directement accessible à la modalité haptique (la texture) et raisonnent préférentiellement sur la forme de l'objet exploré. Leur expérience poussée de la modalité haptique pour percevoir le monde qui les entoure, couplée à un résidu rudimentaire visuel, leur permet d'optimiser les informations haptiques perçues et d'aller au-delà de la de la propriété la plus accessible à la modalité haptique, pour accéder à une compréhension plus globale de l'objet exploré à travers la forme. Le fait qu'on ne retrouve pas cette préférence pour la forme chez les enfants aveugles montre bien que la double expérience visuo-haptique des enfants malvoyants a une influence réelle sur la complexité des informations perçues par le système haptique.

Notons que les enfants aveugles ne montrent pas non plus une préférence pour la texture. Cette position intermédiaire des enfants aveugles, qui ne manifestent donc aucune préférence que ce soit pour le traitement de la forme ou de la texture, nous questionne. Ces enfants alternent entre raisonnement sur la forme et raisonnement sur la texture en fonction de l'item bidimensionnel exploré. Il semble que le raisonnement perceptif sur la forme des enfants aveugles que nous avons rencontrés reste perturbé dans certaines situations par la texture. Forme et texture pourraient être intrinsèquement liées chez les enfants aveugles, qui les percevraient de manière intégrée, alors qu'enfants voyants et malvoyants les percevraient

de manière séparée. Ce type de résultats a été observé par Millar dans ses travaux de 1986, à travers lesquels elle montre que des enfants voyants qui explorent des patterns de points ont une perception séparée de la forme et de la texture, alors que les enfants aveugles en ont une perception intégrée. En ce sens, Berger et Hatwell (1993, 1995, 1996) rapportent que les enfants voyants présentent bien un traitement haptique majoritairement dimensionnel. Elles interprètent ces résultats en mettant en lien la tendance des enfants à se baser sur les informations perçues en début de traitement et la nature séquentielle de la modalité haptique. Les enfants, centrant leur perception sur les premiers moments de l'exploration, ont accès essentiellement à des informations séquentielles, limitant l'intégration des différentes dimensions de l'objet exploré. Nos résultats indiquent cependant que cette particularité perceptive semble spécifique aux enfants voyants, car, dans notre étude, les enfants voyants sont les seuls à préférer la texture, propriété directement accessible en début d'exploration. La forme, préférée par les enfants malvoyants, n'est pas accessible de manière immédiate en modalité haptique et nécessite une intégration des différents segments perçus.

Toutefois, une interprétation inverse de ces résultats pourrait être suggérée. Si nous nous référons à la définition donnée par Garner (1974), deux dimensions de l'objet sont dites « séparées » lorsque la variation d'une dimension n'a aucune influence (positive ou négative) sur la perception de la seconde dimension ; elles sont considérées comme « intégrées » lorsque la variation de l'une impacte la perception de l'autre. En reprenant les résultats d'appariement obtenus par les enfants, lorsque forme et texture varient, nous observons que les variations des deux propriétés n'influencent pas le raisonnement perceptif des enfants aveugles et ont un impact sur celui des enfants malvoyants et voyants. Il pourrait donc être proposé que ce sont au contraire les enfants aveugles qui perçoivent séparément les deux dimensions, allant de l'une à l'autre pour baser leur raisonnement perceptif, et non pas les enfants voyants ou malvoyants. Ces derniers auraient une perception plus intégrée, avec une préférence nette pour l'une ou l'autre des propriétés.

Au-delà de ce questionnement autour d'une perception intégrée ou séparée de la forme et de la texture, on observe donc que lorsque les enfants voyants n'ont pas les informations suffisantes pour passer par la médiation visuelle (comme dans le cas d'exploration de formes qui n'ont pas de sens), ils traitent l'information haptique de manière directe et se fixent sur la propriété accessible le plus immédiatement : la texture. Les enfants déficients visuels, qui ont une certaine expérience de la perception haptique directe, traitent l'information haptique de manière plus globale. Les enfants malvoyants se centrent directement sur la forme, et basent

leur raisonnement perceptif sur cette propriété. Les enfants aveugles semblent plus sensibles aux interactions entre forme et texture. Ils montrent un raisonnement sur la forme moins systématique, qui peut être perturbé par la texture. Il serait intéressant d'étudier les PE mises en œuvre, pour voir si elles sont spécifiques à la forme ou à la texture en fonction du statut visuel, ainsi que les temps d'appariement.

Ces résultats attirent ainsi notre attention sur l'importance du choix des formes et textures utilisées pour illustrer les livres tactiles, ainsi que de la manière dont elles varient, en particulier pour les enfants aveugles dont le raisonnement perceptif sur la forme semble moins solide, et plus enclin à être influencé par la texture.

DISCUSSION GENERALE

L'objectif de cette thèse est de mieux comprendre la manière dont les enfants déficients visuels appréhendent les images tactiles qui illustrent les livres qui leur sont destinés, afin de pouvoir en améliorer la construction. Les difficultés de compréhension présentées par ces images constituent un frein réel à l'accès à la littérature pour les enfants atteints d'un handicap visuel. Pendant presque quatre années, nous nous sommes donc intéressés aux questions soulevées par la perception haptique, essayant de saisir les complexités inhérentes à la compréhension des images en relief. Nous avons fait le choix de prendre en compte les spécificités de l'enfant qui explore, spécificités qui vont avoir un impact sur la manière dont il perçoit le monde qui l'entoure, et nous avons également fait le lien entre cette perception du monde et l'objet sur lequel est orienté notre attention : l'image dans le livre tactile illustré. Cette double considération du sujet et de l'objet aboutit à un système complexe défini par un grand nombre de variables qui interagissent entre elles. Conceptualiser le système formé par cet ensemble de variables et déterminer les liens qui les unissent s'est révélé ardu. Nous avons à cœur de préserver une vision intégrative des différentes conclusions obtenues à l'issue des travaux qui ont été présentés dans cette thèse. Cette discussion générale portera sur deux principaux points. Tout d'abord, à la lumière de nos résultats, nous allons définir un profil type du processus de traitement des images tactiles en fonction des spécificités des enfants et certaines caractéristiques des images. Puis, nous adopterons une vision plus appliquée, en formulant des conseils pratiques concernant la conception des albums et des conseils pédagogiques concernant l'éducation au toucher.

1. L'EXPERIENCE PERCEPTIVE : UNE INFLUENCE FORTE SUR LA MANIERE D'APPREHENDER L'IMAGE TACTILE CHEZ L'ENFANT

Nous avons sélectionné trois variables spécifiques au sujet qui explore une image tactile : son âge, son degré de handicap visuel et son niveau d'expertise tactile. Nous avons ainsi rencontré des enfants âgés de 3 à 12 ans. Parmi ces enfants, certains ne bénéficient pas d'informations visuelles, ils sont aveugles précoces. D'autres, malgré la présence d'un handicap visuel, ont accès dans une certaine mesure à la modalité visuelle : ils sont malvoyants. Différencier aveugles précoces et malvoyants apparaît capital au regard de la littérature qui rapporte de manière consistante des différences importantes entre ces degrés d'atteinte visuelle (e.g. Merabet, Rizzo, Amedi, Somers, & Pascual-Leone, 2005 ; Cattaneo, Vecchi, Monegato, Pece, & Cornoldi, 2007 ; Monegato, Cattaneo, Pece, & Vecchi, 2007). Une dernière variable est apparue essentielle pour mieux comprendre comment les enfants

déficients visuels perçoivent les images tactiles: leur niveau d'expertise haptique. En effet, nous avons postulé, en accord avec la littérature sur le sujet (Dulin & Hatwell, 2006 ; Dulin, 2007 ; Theurel, Witt, et al., 2013), que la familiarité des enfants avec la modalité haptique, qui passe notamment par les habitudes de lecture en braille et de manipulation de livres tactiles illustrés, devait être un facteur fortement déterminant dans la perception et la compréhension des images en relief.

Concernant les variables relatives à l'objet « image », nous nous sommes concentrés sur quatre variables. La première est le guidage sémantique véhiculé par l'histoire qui accompagne les images dans le livre. L'étude de ce facteur, intrinsèque à la situation de lecture d'un livre tactile illustré, nous est apparue indispensable. En effet, il a déjà été montré que l'apport d'informations sémantiques ponctuelles améliore de façon significative l'identification d'images en relief (Heller, 1989 ; Heller et. al., 1996). Nous avons donc fait l'hypothèse que la présence de l'histoire relative aux illustrations tactiles serait un facteur grandement facilitateur pour accéder à une meilleure compréhension des images explorées. Nous avons ensuite étudié l'impact de trois propriétés propres aux images tactiles : leur orientation de profil gauche-droite, et le conflit possible entre la forme et la texture.

Au début de nos recherches, nous avons élaboré un modèle (voir Figure 69) qui soulevait un grand nombre de questions quant à l'influence de ces différentes variables sur les processus de traitement et d'identification des images tactiles explorées. La compréhension d'une image tactile est un processus complexe qui fait appel à une série de mécanismes moteurs, perceptifs et cognitifs. Elle débute par la mise en œuvre d'explorations tactiles afin d'encoder les informations haptiques relatives à l'image, informations qui seront *in fine* élaborées mentalement pour parvenir à reconnaître l'objet représenté sur l'image (Lederman et al., 1990). On observe que, dans ce processus, cognition et action sont particulièrement liées et que les liens qu'elles entretiennent sont déterminants pour accéder à l'identification de l'objet. Dans la modalité haptique, la difficulté majeure réside dans la séquentialité de l'information perçue (séquentialité du point de vue de l'action) et la nécessité donc d'intégrer ces informations perceptives locales séquentielles pour accéder à une reconnaissance globale complète de l'objet exploré (travail cognitif d'intégration des informations encodées). Le passage de ce traitement de « bas niveau » (relatif à l'exploration) à un traitement de « haut niveau » (relatif aux processus mentaux mis en œuvre pour intégrer l'information et interpréter cette élaboration) est une des clés qui permet de mieux comprendre les images explorées. Il est surement orchestré par les spécificités liées au sujet et influencé par les

propriétés physiques des images tactiles. Nous proposons de chercher à le démontrer en nous appuyant sur les résultats obtenus dans nos différentes études.

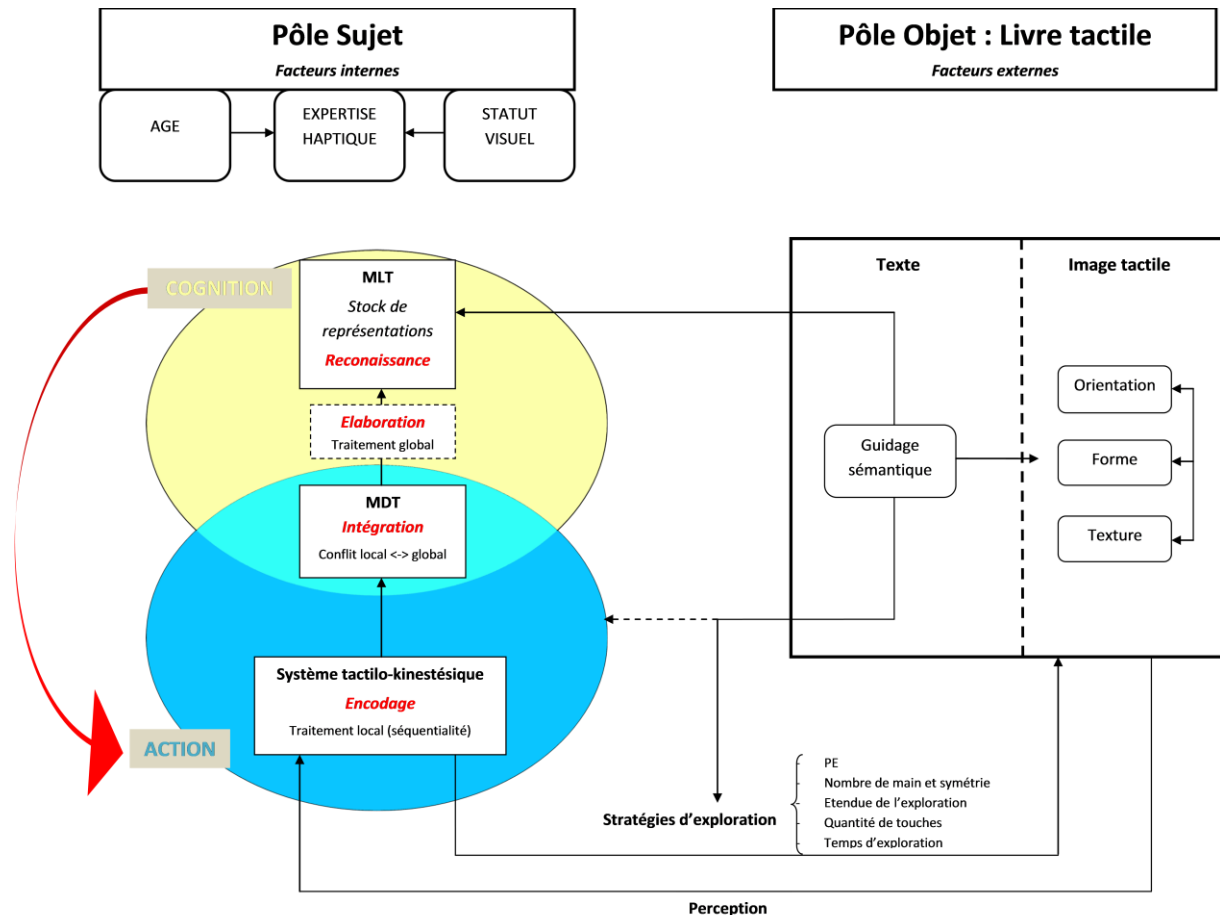


Figure 69. Modèle de fonctionnement cognitivo-exploratoire face à une image tactile

Nous avons modélisé les relations entre les sphères « *cognition* », « *action* » et les pôles « *sujet* » et « *objet* », qui amènent à la reconnaissance de l'image explorée tactilement. La sphère « *action* » rassemble les aspects qui ont trait aux mouvements de la main et aux sensations kinesthésiques provoquées par ces mouvements, c'est à dire essentiellement les procédures d'explorations (PE) haptiques (les mouvements spécifiques mis en œuvre), mais aussi la quantité de touches effectuées, le déploiement des explorations dans l'espace de l'image et dans le temps. La « *sphère cognition* » englobe le traitement de l'information haptique (son intégration en mémoire de travail, l'élaboration d'une image mentale et l'activation des représentations stockées en mémoire à long terme pour accéder à l'identification). Les processus mis en place au niveau perceptivo-moteur comme au niveau

cognitif vont être influencés par les facteurs relevant du pôle « *sujet* » (le statut visuel, l'expertise haptique, l'âge) d'une part et ceux dépendant du pôle « *objet* » d'autre part (l'orientation, la forme et la texture). Rappelons que l'orientation gauche-droite des éléments représentés de profil n'a eu aucun effet sur la compréhension des images explorées, que ce soit chez les enfants déficients visuels comme chez les enfants voyants. Nous n'en tiendrons donc pas compte dans les propos qui vont suivre.

Afin de rendre compte de ces interactions complexes, nous allons définir le fonctionnement des enfants face à une image tactile à travers le prisme du statut visuel. En effet, enfants aveugles, enfants malvoyants et enfants voyants n'ont pas la même manière d'appréhender les images tactiles. Nous avons observé des différences dans la manière d'explorer et d'appréhender les propriétés des images tactiles mais également des différences dans la façon de traiter les informations perçues. Ces différences mettent en lumière un jeu subtil entre processus top-down et processus bottom-up qui varie à travers les filtres de l'expérience perceptive. Nous commencerons par dresser un profil global des enfants déficients visuels. Puis nous détaillerons le fonctionnement des enfants aveugles d'une part et des enfants malvoyants d'autre part, et enfin des enfants voyants.

1.1. ENFANTS DEFICIENTS VISUELS : SPECIFICITES PERCEPTIVES ET CONCEPTUELLES

Commençons par envisager les spécificités des enfants déficients visuels (aveugles et malvoyants) en termes d'exploration et de compréhension des images tactiles. Notons tout d'abord, qu'en ce qui concerne les performances de reconnaissance des images explorées des enfants aveugles et malvoyants regroupés, elles ne se démarquent pas de celles de leurs camarades voyants lorsqu'ils sont dans un contexte sémantique (connaissance du titre de l'histoire ou guidage sémantique par le texte de l'histoire). Cette observation fait écho aux travaux de D'Angiulli, Kennedy et Heller (1998) qui montrent que lorsque l'exploration des enfants voyants est guidée, ils identifient correctement des images tactiles dans la même proportion que les enfants déficients visuels. En revanche, du point de vue de l'exploration, les stratégies mises en place sont différentes. Ce résultat va dans le sens d'un certain nombre d'études qui rapportent des différences dans les stratégies d'exploration mises en œuvre entre enfants déficients visuels et enfants voyants (D'Angiulli et al, 1998 ; Rovira, et al., 2011 ; Vinter, et al., 2012). Il apparaît donc qu'il existe plusieurs chemins pour arriver à une bonne compréhension de l'image explorée. Cette idée fait écho à Galiano (2013), qui écrit dans son ouvrage *Psychologie cognitive et clinique du handicap visuel*, que sujets déficients visuels et

voyants, atteignent globalement les mêmes niveaux de réalisation et de compréhension, en empruntant des voies développementales particulières (Portalier, 1992). La nuance pour essayer de comprendre les différents modes de fonctionnement est donc de rigueur.

Chez les enfants déficients visuels, une bonne compréhension de l'image est particulièrement liée à une exploration bimanuelle. Ce lien entre compréhension satisfaisante d'un pattern bidimensionnel et exploration bimanuelle a déjà été observé (Russier, 1999 ; Wijntjes et al., 2008) et se confirme donc dans nos travaux. De plus, la manière d'explorer est influencée par le guidage sémantique. En effet, lorsque l'histoire n'accompagne pas la lecture de l'image tactile, les enfants déficients visuels mettent en œuvre une exploration plus structurée (exploration symétrique). En présence de l'histoire, les informations fournies par le guidage sémantique sont suffisamment structurantes et permettent une exploration plus fluide (plus de PE mises en œuvre). Les informations sémantiques ont donc un rôle d'amorçage fort au niveau cognitif, mais elles impactent également le niveau de l'action. De telles connexions entre guidage sémantique et exploration tactile chez les enfants déficients visuels ont été relevées par Theurel et al. (2010).

Notons que le degré d'expertise haptique a eu une influence forte dans le développement de ce type d'explorations, contrairement à l'âge. Si l'impact de l'expertise sur les mouvements d'exploration a été mis en évidence par Heller (2000), l'absence d'effet de l'âge dans nos travaux va à l'encontre de résultats obtenus par les auteurs qui ont étudié les mouvements d'exploration chez les enfants déficients visuels (Simpkins, 1979 ; Simpkins & Siegel, 1979 ; Morrongiello et al., 1994). Nous avons fait le choix d'adapter les images à l'âge des enfants que nous avons rencontrés. Ce choix a très certainement contribué à atténuer l'effet de l'âge. Toutefois, l'absence d'effet d'âge peut révéler que, lorsqu'on leur présente un matériel adapté à leurs capacités perceptives, les enfants déficients visuels sont capables, dès leur plus jeune âge, de mettre en œuvre des mouvements d'exploration suffisamment matures pour accéder à la compréhension de l'image tactile. Nous pensons que cette maturité d'exploration haptique est à mettre en lien avec l'accompagnement de plus en plus précoce de ces enfants et de leurs familles, et de la volonté toujours plus marquée des professionnels de l'accompagnement du handicap visuel à mettre en avant l'importance de la modalité haptique dans la compréhension du monde qui entoure les enfants déficients visuels.

En ce qui concerne les aspects spatio-temporels des explorations, ils ont un impact fort sur la compréhension des images chez les enfants déficients visuels. Ainsi, plus une

exploration est longue et conséquente au niveau de la quantité de touchers, plus le travail d'intégration des informations perçues va être difficile. La mémoire de travail surchargée ne parvient pas à faire le lien entre les différentes informations et l'accès à la représentation en mémoire devient encore plus difficile. La quantité d'explorations n'est donc pas au service de la qualité, et il semble que, pour les enfants déficients visuels, les premiers moments de l'exploration soient particulièrement déterminants pour la compréhension de l'image explorée. Cet impact négatif d'une exploration qui dure dans le temps a été mis en évidence chez les sujets adultes voyants (Lederman et al., 1987 ; Fagot et al. 1994) et aveugles (Withagen, et al. 2012).

Le lien entre quantité d'explorations, temporalité et compréhension, se vérifie lorsqu'on regarde l'âge et l'expertise des participants déficients visuels. En effet, les enfants les plus âgés et ceux qui présentent le degré d'expertise le plus élevé sont les enfants qui explorent moins en termes de nombre de touchers et de temps d'exploration, mais ce sont également ceux qui identifient le mieux les images explorées. Lorsqu'une récupération rapide de la représentation en mémoire de l'objet bidimensionnel a échoué, les enfants mettent en place une stratégie de traitement de l'information afin d'accéder à cette représentation. Pour cela, ils passent par différents niveaux de traitement : le perceptif d'abord, en traitant la texture, accessible plus directement, puis la forme. Ces différents niveaux de traitement de l'information haptique sont influencés par l'âge des enfants déficients visuels. En effet, avec la maturation de leurs capacités de conceptualisation et d'abstraction, leur traitement de l'image tactile est de plus en plus performant. D'abord centrés sur le perceptif (la texture et forme), ils vont avec l'âge progressivement dépasser ce niveau et utiliser ces indicateurs de forme ou texture, couplés éventuellement à l'histoire accompagnant leurs explorations, pour se focaliser sur des dimensions de plus en plus conceptuelles, liées à la sémantique de l'objet.

L'impact négatif du temps et de la quantité d'exploration est particulièrement vrai lorsque les explorations sont guidées par l'histoire. Aucune étude ne s'est encore intéressée aux liens qui peuvent exister entre durée d'exploration et guidage sémantique de l'exploration. Nous apportons donc un éclairage nouveau dans l'interprétation des comportements exploratoires des enfants en termes de temporalité dans un contexte de découverte d'images tactiles dans un livre. Les enfants font des hypothèses à partir des informations sémantiques, hypothèses qu'ils cherchent à valider à travers les informations perceptives fournies par l'exploration. Lorsque l'histoire contextualise les explorations, les enfants ont moins besoin de rechercher l'information tactile sur l'image, les nombres de touches sont moins nombreuses, l'exploration est plus rapide et elle se déploie moins dans

l'espace de la page. L'histoire fournit des indications sémantiques mais également des informations spatiales sur l'image explorée, ce qui permet aux enfants de se repérer plus rapidement dans l'espace de l'image et d'appréhender la globalité des éléments tactiles. Lorsque l'exploration est quantitativement importante (en temps et en nombre de touches) en présence du guidage sémantique, cela montre l'échec des processus top down impliqués par le guidage. Lorsque les informations perçues sous les doigts ne font pas écho aux informations apportées par l'histoire, le temps d'exploration et la quantité de touches augmentent. Dans ce cas, le guidage sémantique peut être source d'erreurs. L'information sémantique prend l'ascendant sur l'information perceptive. L'enfant, en cherchant à tout prix à faire correspondre ses attentes (formées à partir de l'histoire) à ce qu'il ressent sous ses doigts s'expose à des difficultés de compréhension de l'image explorée. En revanche, lorsque les explorations ne sont pas guidées par l'histoire, les enfants doivent aller rechercher l'information tactile de manière plus poussée et plus active. Cela peut se traduire par une augmentation du temps d'exploration et une intensification du nombre de touches. De plus, l'absence du guidage sémantique incite les enfants à effectuer des explorations plus ouvertes vers le haut de l'image. Ce type d'exploration exocentrée permet une meilleure appréhension de l'ensemble des éléments de l'image. Le traitement de l'image est plus global, ce qui place l'enfant dans de meilleures conditions de reconnaissance.

L'exploration exocentrée est caractéristique des enfants déficients visuels, on ne l'observe pas chez les enfants voyants qui montrent des explorations moins ouvertes sur l'extérieur. Ces observations vont à l'encontre de la littérature sur le sujet. En effet, les travaux qui ont étudié les cadres de référence spatiaux chez les enfants (Hermelin & O'Connor, 1971 ; Millar, 1975) indiquent que ce sont les enfants voyants qui ont plus tendance à être centrés sur l'objet (perception allocentrée), alors que les enfants déficients visuels se réfèrent plus à leur propre corps (perception égocentrée). Comme nous l'avons déjà évoqué, selon nous, l'évolution de l'accompagnement des enfants déficients visuels, depuis la date de ces études (environ quarante ans) a permis à ses derniers de développer leurs compétences haptiques et d'avoir un rapport à l'espace moins confiné, plus ouvert.

Nous allons maintenant exposer les spécificités relatives aux explorations haptiques et à la compréhension des images tactiles que nous avons observées chez les enfants aveugles d'une part et chez les enfants malvoyants d'autre part.

- Enfants aveugles : l'haptique, une voie royale

Les enfants aveugles ont un vécu perceptif marqué par la modalité haptique. Ils sont particulièrement sensibles aux différentes informations qui peuvent être perçues par le toucher, sensibilité qu'ils développent, de manière beaucoup plus marquée que les enfants voyants et même que les enfants malvoyants. Le toucher fait exister l'objet au travers de ses propriétés physiques en premier lieu. Nous avons pu constater que, chez ces enfants, la texture et la forme de l'image peuvent avoir autant d'importance ou d'intérêt que la sémantique de l'image, ce qu'elle représente. En effet, lorsque les enfants aveugles n'accèdent pas à la dimension sémantique de l'objet à reconnaître sur l'image, ils se focalisent sur des dimensions plus perceptives, la forme géométrique et/ou la texture de l'objet exploré (expérience 1). Dans notre troisième expérience (étude du conflit entre forme et texture), les résultats obtenus par les enfants aveugles ne montrent pas de préférence de traitement pour l'une ou l'autre de ces propriétés perceptives. Par contre, le traitement perceptif de la forme peut être perturbé dans certaines situations par la texture. Les enfants aveugles sont plus sensibles aux interactions entre forme et texture que les enfants malvoyants. Ils montrent un raisonnement sur la forme moins systématique qu'eux. Forme et texture apparaissent donc intrinsèquement liées chez les enfants aveugles. Ces liens étroits entre perception de la forme et perception de la texture vont dans le sens des observations faites par Millar (1986), qui montre que les enfants aveugles ont une perception intégrée de la forme et de la texture (contrairement aux enfants voyants).

Cependant, si les enfants aveugles ont une sensibilité particulière vis-à-vis des dimensions perceptives de l'image, ils sont également particulièrement réceptifs aux variables plus « top-down » : le guidage sémantique. Ainsi, l'aide sémantique amenée par l'histoire leur permet d'accéder à une dimension plus conceptuelle de l'objet représenté sur l'image tactile, facilitant son identification. Cela est valable lorsque le raisonnement initial des enfants aveugles est basé sur la forme géométrique de l'objet. En revanche, si au début de l'exploration, ils se basent sur la texture, le degré de conceptualisation reste trop élémentaire pour être influencé par le guidage sémantique et accéder à la dimension sémantique de l'image (expérience 1). De plus, nous avons observé que l'expertise haptique permet aux enfants aveugles de compenser leurs difficultés de conceptualisation. En effet, chez les enfants aveugles débutants, l'identification des images tactiles est plus laborieuse que pour les enfants malvoyants débutants. Mais lorsqu'ils gagnent en expertise, les enfants aveugles sont plus à l'aise pour identifier les images et ils rattrapent leurs camarades malvoyants experts.

Cet effet positif de l'expertise haptique n'a jamais été observé en ces termes dans la littérature, entre performances d'enfants aveugles et performances d'enfants malvoyants dans un contexte d'identification d'images familières. L'expertise haptique permet aux enfants déficients visuels d'affiner leurs explorations mais aussi de gagner en connaissances. Elle a donc une double influence top-down et bottom-up. C'est une variable qui a un impact fort dans l'amélioration de la compréhension des images tactiles chez les enfants déficients visuels (aveugles comme malvoyants).

Du point de vue de l'action, les enfants aveugles présentent des modes d'exploration plus efficaces que les enfants voyants, mais moins pertinents que les enfants malvoyants, qui profitent de façon optimale de leur perception de la lumière (Millar, 1994 ; Millar & Al-Attar, 2002, 2004). Cependant, les explorations des enfants aveugles s'améliorent avec l'âge. Ils passent d'une exploration restreinte, limitée au champ perceptif d'une main, à une exploration plus efficace et structurée, faisant appel aux deux mains qui effectuent des mouvements symétriques. Ces observations rejoignent celles faites par des études précédentes sur l'évolution de la qualité des mouvements d'exploration avec l'âge chez les enfants aveugles (Simpkins, 1979 ; Simpkins & Siegel, 1979 ; Morrongliello et al., 1994). Notons que contrairement à ce qui est dit dans la littérature (Piaget & Inhelder, 1947/1963 ; Abravanel, 1968 ; Zaporozhets, 1965 ; Berger & Hatwell, 1995), nous avons observé que les enfants voyants développent plus tardivement des modes d'exploration efficaces pour explorer une image tactile, comparativement aux enfants aveugles et aux enfants malvoyants, ces derniers étant ceux présentant des modes d'explorations matures le plus précocement.

Enfin, les enfants aveugles atteints du degré de handicap le plus sévère (catégorie 5 de l'OMS), ont besoin de plus de temps pour explorer une image comparativement à leurs camarades malvoyants et voyants. Le risque d'une exploration prolongée dans le temps est d'entraver le travail d'intégration de l'information perçue par la mémoire de travail en la surchargeant. Les enfants aveugles, qui utilisent exclusivement leur système haptique pour appréhender l'image, sont confrontés de manière directe et constante au caractère séquentiel de cette modalité, et développent probablement une mémoire de travail tactile plus performante que les enfants bénéficiant de vision, même dégradée. Intégrer l'information haptique afin d'accéder à la forme globale de l'objet et à sa représentation demande du temps, un temps qui apparaît nécessaire pour les enfants aveugles.

Afin d'établir le profil cognitivo-exploratoire des enfants aveugles face à une image tactile dans un livre, nous avons repris notre modèle initial que nous avons modifié en fonction des conclusions que nous venons d'exposer. Ce modèle de fonctionnement propre aux enfants aveugles est présenté dans la Figure 70.

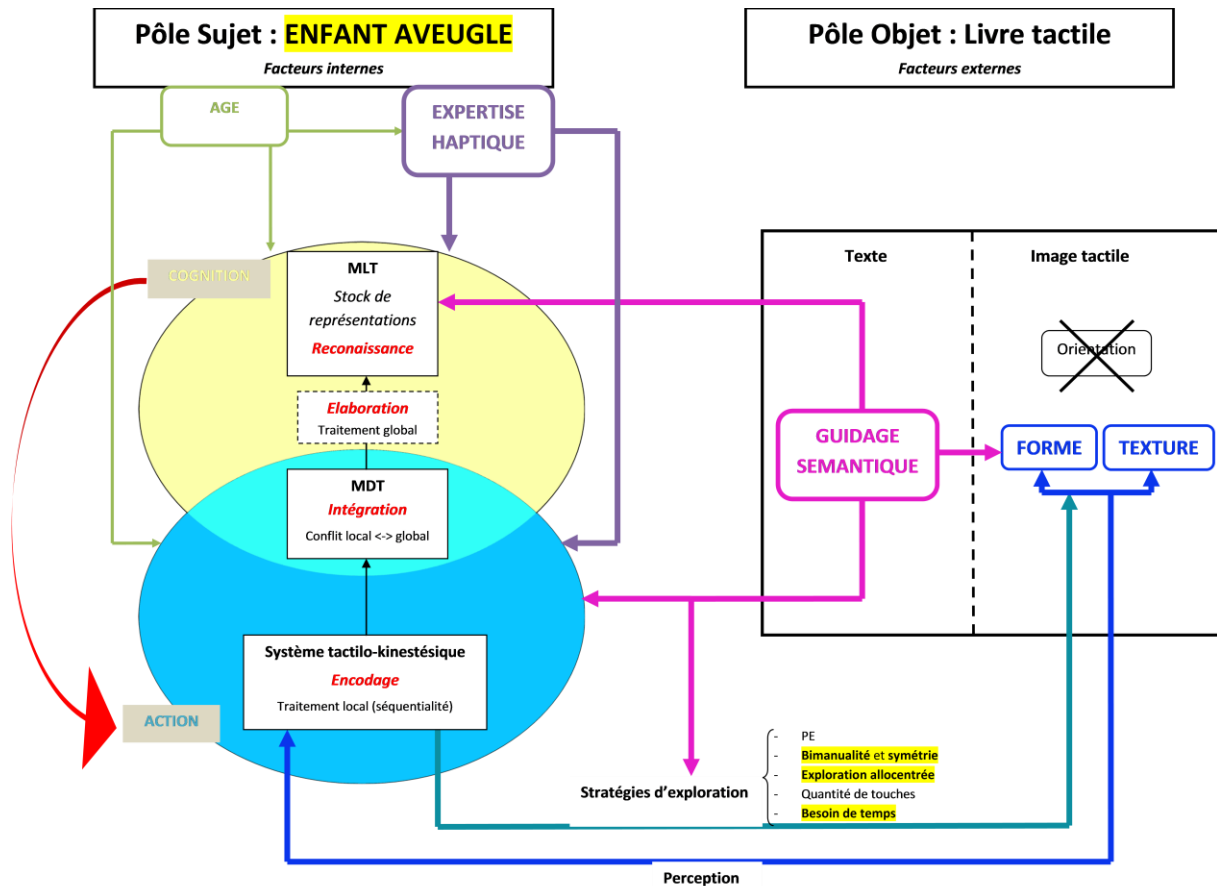


Figure 70. Modèle de fonctionnement cognitivo-exploratoire des enfants aveugles face à une image tactile

De ce modèle, nous retenons que les enfants aveugles :

- Sont sensibles aux informations perceptives (forme et texture).
⇒ Ils en ont une perception intégrée.
- Sont sensibles aux informations sémantiques.
⇒ Double influence top-down et bottom-up du guidage sémantique
- Compensent leurs difficultés de compréhension grâce à l'expertise haptique.
⇒ Double influence top-down et bottom-up de l'expertise haptique
- Ont des explorations haptiques matures (bimanuelles, symétriques et exocentrées) qui s'améliorent avec l'âge.
- Ont besoin d'un certain temps d'exploration pour élaborer mentalement les informations haptiques perçues séquentiellement.

- *Les enfants malvoyants : une double expérience perceptive unique*

Les enfants malvoyants profitent de leur double expérience visuo-haptique. Leur compréhension de l'image est supérieure à celles des enfants voyants lorsqu'ils disposent d'informations sémantiques sur l'image explorée (titre ou texte de l'histoire - expérience 1). Elle est supérieure à celle des enfants aveugles lorsqu'aucune information sémantique n'est donnée (expérience 2 : influence de l'orientation spatiale). Ces meilleures performances d'identification des images explorées sont reliées à une expérience poussée de la pratique de la modalité haptique, qui leur permet une utilisation plus efficace et plus efficiente de leurs mains comparativement aux enfants voyants. Très peu d'études ont comparé les capacités d'exploration haptique d'enfants malvoyants et voyants. Toutefois, congruement avec nos résultats, Vinter et al. (2012) ont observé que les enfants malvoyants ont de meilleures performances de reconnaissance spatiale comparativement aux enfants voyants, du fait de leur meilleure maîtrise de la modalité haptique. D'autre part, l'expérience de la modalité visuelle et la perception lumineuse dont ils bénéficient, même si très faible et très rudimentaire, les placent dans une position plus confortable que les enfants aveugles pour appréhender les règles de transformation de la 3D à la 2D (Heller, 1989 ; Heller et al, 2002 ; Heller et al, 2003 ; Heller, Riddle, et al., 2009), et leur permet de développer des explorations de meilleure qualité (Millar, 1994 ; Millar & Al-Attar, 2002, 2004).

Ainsi, du point de vue de l'action, les enfants malvoyants présentent une exploration structurée et fluide, majoritairement bimanuelle, symétrique et variée (utilisation combinée de plusieurs PE). La bimanualité et les explorations symétriques sont déjà observées chez les enfants malvoyants les plus jeunes (entre 3 et 6 ans). En grandissant, ils développent des modes exploratoires plus flexibles ayant à la fois recours la bimanualité et à l'unimanualité. A notre connaissance, aucune étude n'a analysé de manière aussi précise la manière d'explorer des enfants malvoyants. Notons qu'une exploration mature est déjà présente chez les enfants malvoyants les plus jeunes de notre échantillon. Ce type d'exploration apparaît un peu plus tard chez les enfants aveugles (autour de 6 ans) et beaucoup plus tard chez les enfants voyants (autour de 10 ans).

D'un point de vue perceptif, nous avons observé que les enfants malvoyants sont davantage enclins à réaliser des appariements sur la forme (expérience 3). Ce raisonnement sur la forme est influencé par la complexité de celle-ci et par l'intensité de la texture associée. Ainsi, les enfants malvoyants se centrent d'autant plus sur la forme de l'image que celle-ci est simple et que sa texture est peu saillante. Ceci suggère, en comparaison avec les enfants

aveugles, que les enfants malvoyants mettent en œuvre un traitement de l'information haptique plus complexe. Ils ne se limitent pas à la dimension directement accessible à la modalité haptique (la texture) et raisonnent préférentiellement sur la forme de l'objet exploré. Leur expérience familière de la modalité haptique pour percevoir le monde qui les entoure, couplée à une utilisation optimale des faibles informations visuelles laissées possibles par leur handicap, leur permet d'optimiser ces informations haptiques perçues, d'aller au-delà de la propriété la plus accessible à la modalité haptique (la texture) pour accéder à une compréhension plus globale de l'objet exploré à travers la forme. En modalité haptique, raisonner sur la forme fait appel à des traitements cognitifs de haut niveau, car cela nécessite une intégration des informations perçues au niveau local pour accéder à la globalité de l'objet bidimensionnel exploré.

Le profil cognitivo-exploratoire des enfants malvoyants face à une image tactile dans un livre, établi à partir des conclusions que nous venons d'exposer, est présenté dans le modèle illustré par la Figure 71.

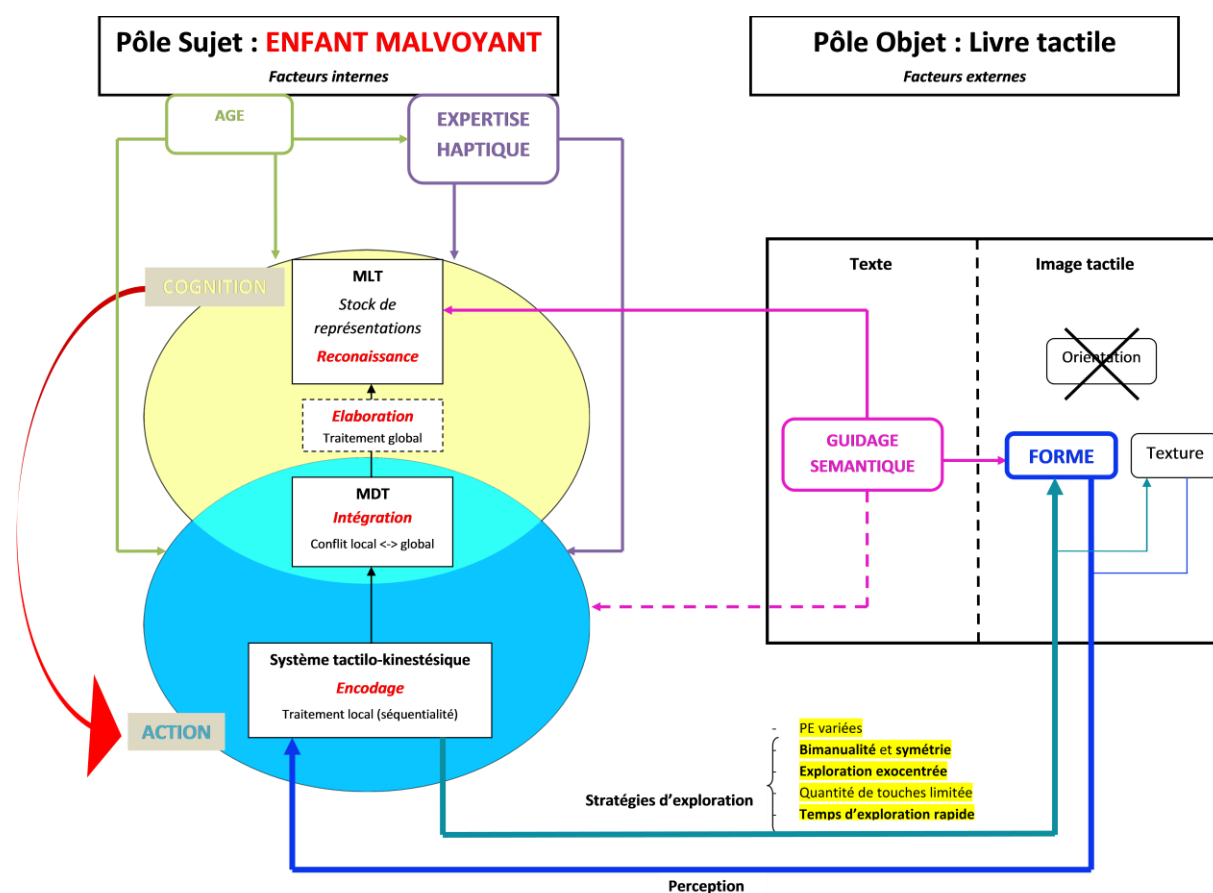


Figure 71. Modèle de fonctionnement cognitivo-exploratoire des enfants malvoyants face à une image tactile

De ce modèle, nous retenons que les enfants malvoyants :

- Traitent informations haptiques et informations sémantiques en parallèle.
⇒ *Influence du guidage sémantique essentiellement top-down*
- Montrent un traitement complexe de l'information haptique centré sur la forme.
- Ont des explorations haptiques matures précoces (bimanuelles, symétriques, exocentrées, PE variées) qui s'améliorent avec l'âge.
- Ne profitent pas d'une exploration trop longue dans le temps, qui implique un nombre de touches important.

1.2 LES ENFANTS VOYANTS : INTERFERENCES ENTRE VISION ET HAPTIQUE

L'univers perceptif des enfants voyants est dominé par la modalité visuelle. Lorsqu'ils sont placés dans une situation de découverte du monde inhabituelle pour eux, au travers de l'haptique, on constate qu'ils cherchent à associer, dès leur plus jeune âge, leurs explorations haptiques à des représentations sémantiques. Quand ils doivent identifier l'objet représenté sur l'image tactile, ils font très peu référence aux dimensions perceptives de l'image (texture et forme géométrique) et se fixent sur la dimension sémantique. A l'inverse des enfants déficients visuels, la contribution de l'haptique dans leurs représentations perceptives est réduite. Les processus top-down sont particulièrement opérants chez ces enfants et ils dominant, voire dirigent, les processus bottom-up liés à l'exploration haptique. Lorsque les enfants voyants ont à leur disposition des informations sémantiques concernant l'image explorée, des représentations liées à ces informations sémantiques sont activées. Ces représentations font naître des hypothèses quant à l'identité de l'objet exploré, hypothèses que les enfants valident en mettant en œuvre une exploration spécifique centrée sur les détails de la forme de l'objet (*suivi de contour*), en éludant la globalité de la scène tactile. Les enfants voyants ne font pas plus appel à la PE *suivi de contour* que leurs pairs déficients visuels, mais en présence de l'histoire, ce type d'exploration centrée sur le traitement de la forme de l'objet est lié à de bonnes performances de reconnaissance. Il en résulte des explorations peu ouvertes sur l'espace de la page. La capacité des enfants voyants à développer une exploration spécifique au traitement de la forme des éléments explorés ne cesse d'augmenter entre 3 et 12 ans. Ils développent leurs explorations d'un point de vue quantitatif comme qualitatif à partir de 10 ans (ce qui est plus tard que les enfants déficients visuels), avec un nombre de touches et un investissement de la partie supérieure de l'image qui augmentent à partir de cet âge. Ces observations rejoignent la littérature sur le sujet qui observe que c'est autour de 8 ans qu'une

exploration organisée appréhendant la globalité et les détails de l'objet apparaît chez les enfants voyants (Hatwell, et al., 1973 ; Lederman & Klatzky, 1993)

La stratégie de traitement dirigé par la sémantique, chez les enfants voyants, se révèle efficace en termes de compréhension de l'image tactile lorsque les informations sémantiques sont suffisantes (en présence de l'histoire). Lorsque le guidage sémantique n'accompagne pas les explorations, les enfants voyants qui continuent à mettre en œuvre le *suivi de contour* pour appréhender les éléments de l'image font plus d'erreurs de compréhension. Ces erreurs sont certainement dues à des interférences top-down entre connaissances visuelles activées (par la connaissance du titre de l'histoire) et informations perceptives haptiques. Il est de même probable que l'aspect séquentiel marqué de la PE *suivi de contour* soit particulièrement couteux d'un point de vue cognitif au moment de l'intégration des informations perçues, entravant de ce fait la compréhension de l'image.

Dans un contexte d'exploration asémantique, les enfants voyants adaptent leurs stratégies de traitement et se focalisent sur la dimension la plus accessible à la modalité haptique : la texture. La difficulté relative à l'intégration des informations correspondant à la forme perçue de manière séquentielle les pousse à raisonner à partir d'une propriété plus intelligible du point de vue de la modalité haptique, perçue de manière plus globale et accessible dès les premiers instants de l'exploration.

Les conclusions que nous venons de présenter sur le fonctionnement cognitivo-exploratoire des enfants voyants face à une image tactile dans un livre sont illustrées dans la Figure 72.

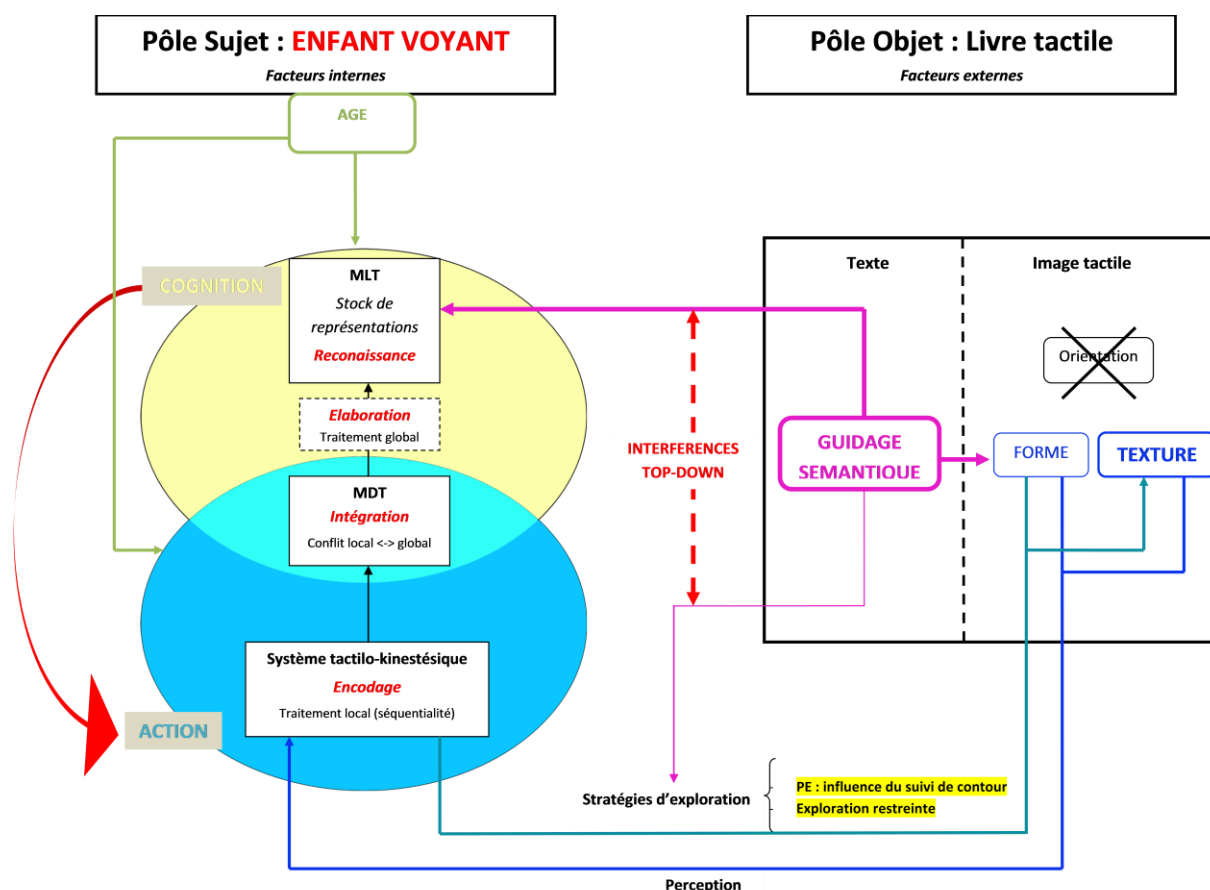


Figure 72. Modèle de fonctionnement cognitivo-exploratoire des enfants voyants face à une image tactile

De ce modèle, nous retenons que les enfants voyants :

- Se fixent sur l'information sémantique qui va diriger l'ensemble des processus de traitement.
 - ⇒ Influence du guidage sémantique essentiellement top-down
 - ⇒ Supériorité des processus top-down sur les processus bottom-up
 - ⇒ Risque d'interférence top-down entre connaissances visuelles activées et informations haptiques perçues
- Ont des explorations haptiques peu spécialisées qui s'améliorent avec l'âge

La compréhension de l'image tactile résulte donc de processus complexes qui sont à l'œuvre au niveau perceptivo-moteur et cognitif. Les liens entre les sphères cognition et action ne sont pas unidirectionnels, et un jeu subtil entre influences *top-down* et influences *bottom-up* apparaît particulièrement opérant dans la modalité haptique. Lorsque les enfants sont face à l'image tactile, ils perçoivent et traitent des informations relatives à la texture et des informations relatives à la forme. Pour comprendre ce que représente l'image, ils doivent

donner du sens à ces informations perçues en faisant des liens entre forme, texture et leurs connaissances. La compréhension de l'image est alors orchestrée par un ensemble de processus. Les processus *bottom-up* sont dirigés par les informations sensorielles haptiques. Ils sont en lien avec une perception directe de l'image. La qualité de ce traitement est corrélée avec la capacité des enfants à utiliser leurs mains de manière adéquate pour capter une information haptique optimale. Donc, plus l'enfant a un niveau de pratique tactile élevé, plus ses processus de traitement ascendants seront efficaces. Les processus *top down* sont, quant à eux, dirigés par les connaissances des enfants. Ils sont en lien avec une perception indirecte. Ce type de traitement est nourri par les indices sémantiques amenés par l'histoire. Nous avons vu que les influences top-down et bottom-up n'ont pas le même poids en fonction du statut visuel. Si un certain équilibre semble présent chez les enfants déficients visuels entre les deux types de processus, les enfants voyants ont un traitement de l'image clairement dominé par les processus top-down.

2. PRECONISATIONS PEDAGOGIQUES CONCERNANT L'EDUCATION AU TOUCHER ET CONSEILS PRATIQUES POUR LA CONCEPTION DES ALBUMS TACTILES.

Les connaissances sur le fonctionnement et le développement de la modalité haptique face à un matériel en deux dimensions font défaut. Du point de vue fondamental, nous avons montré, à travers nos travaux, que la compréhension des images tactiles est liée à des mécanismes cognitifs et perceptivo-moteurs, qui sont fortement influencés par l'expérience perceptive des enfants, laquelle impacte la manière de récolter et de traiter l'information haptique, et joue également un rôle sur le contenu représentationnel. Mieux comprendre les mécanismes utilisés pour lire les images tactiles nous permet de mettre en avant des préconisations pour développer une pédagogie du toucher et de la découverte des images en relief à l'attention des enfants déficients visuels, mais également des conseils afin de concevoir des images plus adaptées aux compétences cognitivo-perceptivo-motrices de ces enfants.

2.1. PRECONISATIONS PEDAGOGIQUES ET EDUCATION AU TOUCHER

En premier lieu, il est important d'adapter l'accompagnement proposé aux enfants en fonction de leur degré de handicap visuel. Nous avons vu que les enfants aveugles sont sensibles à l'ensemble des informations disponibles autour de l'image tactile (information perceptive : forme et texture, et information sémantique). Cette qualité perceptive est un atout formidable, qui plaide en faveur d'une pédagogie « intégrative » : intégrative face à l'ensemble des compétences de l'enfant et intégrative relativement aux différentes dimensions perceptives et conceptuelles qu'offre le monde. Elle ouvre un champ de possibles et offre au domaine de la pédagogie et de l'éducation dans le cadre du handicap visuel, une véritable opportunité de penser et de créer des moyens, des méthodes, pour aiguiller les enfants sur le chemin de la découverte du monde qui les entoure. Il faut toutefois rester vigilant sur le fait que les enfants aveugles, en particulier les plus jeunes et les plus inexpérimentés, peuvent être particulièrement perturbés par les interférences inhérentes au flot d'informations, pas toujours faciles à relier au réel. Il faut donc canaliser ces informations en favorisant une cohérence entre elles.

Recentrons-nous sur le cas de l'image tactile. Il est important que la forme, la texture et l'information sémantique soient au départ toujours associées de la même manière, afin de permettre à l'enfant de les intégrer, de se les approprier, pour pouvoir par la suite s'en détacher, et être plus flexible vis-à-vis des différentes associations qui peuvent être faites.

La notion de temporalité est également importante. Nous avons vu qu'un certain temps d'exploration pouvait être nécessaire pour intégrer les différentes informations perçues, en particulier pour les enfants aveugles, et dans le cas où les informations sémantiques n'étaient pas suffisantes (absence de l'histoire pendant l'exploration). Nous avons également mis en évidence qu'un temps d'exploration trop long pouvait avoir un effet inverse, en surchargeant la mémoire de travail, entravant de ce fait l'intégration des informations perçues et la compréhension de l'image tactile, cette observation étant particulièrement vraie pour les enfants malvoyants. Il convient donc de prendre du recul et de réfléchir sur cette notion de temps dans le travail d'accompagnement entrepris avec l'enfant. Lui laisser le temps suffisant pour appréhender l'objet dans toute sa complexité, mais ne pas le mettre dans une position où le temps deviendrait facteur de confusion.

Concernant plus spécifiquement les enfants malvoyants, l'accès, même faible, à la modalité visuelle, les place dans une position perceptive tout à fait singulière. On peut en imaginer une difficulté de trouver en quelque sorte une place, entre le « monde des voyants »

et les « monde des aveugles ». Cet état « d'entre deux », pas vraiment d'un côté, pas vraiment de l'autre, est difficile à gérer. Mais essayons de ne pas raisonner de manière clivée et de garder une vision intégrative. L'accès à l'information visuelle, même minime, est un formidable atout pour les enfants malvoyants. Ils développent ainsi des processus cognitifs empreints d'une expertise haptique certaine, et leurs représentations mentales sont riches, marquées par l'haptique et le visuel. L'accès à la vision leur permet également d'adopter une posture optimale pour des explorations de qualité, ce qui est moins évident pour les enfants aveugles qui ne bénéficient d'aucune information visuelle. Il est donc important de promouvoir dans l'accompagnement des enfants malvoyants cette double expérience perceptive unique. Concernant plus spécifiquement la découverte d'images tactiles, nous avons vu que les enfants malvoyants sont moins sensibles aux interférences entre forme, texture et information sémantique. Ils ont des facilités pour traiter la forme des objets et sont plus enclins à appréhender l'image à partir de sa forme, comparativement aux enfants aveugles.

Enfin, nos travaux appuient le lien fonctionnel fort qui existe entre compréhension de l'image tactile et stratégies d'exploration haptique. Ces compétences qui permettent de récolter et d'organiser les informations perçues sont influencées par trois facteurs : l'âge, l'expertise et le guidage des explorations. Les enfants déficients visuels montrent dès leur plus jeune âge des capacités de traitement de l'image tactile et des aptitudes de compréhension lorsqu'ils explorent des images adaptées (contenu simple, symétrique et taille de l'espace d'exploration cohérent à la taille de la main). Ces capacités s'améliorent avec l'âge. Nous n'avons pas analysé spécifiquement l'impact de ces caractéristiques de l'image en fonction de l'âge, et il serait intéressant de mener une étude centrée sur ces aspects pour en évaluer l'influence réelle. Néanmoins, nous mettons l'accent sur le fait que lorsque l'enfant est dans un contexte adapté à ses capacités, il révèle tout son potentiel. Cette considération est importante du point de vue pédagogique et montre bien l'intérêt de réfléchir à l'adéquation entre conditions et supports tactiles proposés d'une part et spécificités individuelles d'autre part. En ce sens, des travaux sur les dessins des enfants aveugles ont montré que lorsque les enfants aveugles sont dans un contexte qui leur donne l'opportunité d'exprimer leur capacité en matière de production graphique (matériel et instructions adaptées), ils sont capables de produire des œuvres graphiques aussi bien que les enfants voyants (Kennedy, 2003 ; Kennedy, Juricevic ; 2003 ; Kennedy, Juricevic ; 2006).

Cette constatation est également valable concernant l'expertise haptique. L'expertise haptique influe, encore plus que l'âge, sur les capacités de traitement et de compréhension des images tactiles. L'expertise haptique passe notamment par l'exposition répétée des enfants à des supports tactiles comme les livres, qui permettent de se familiariser au braille et aux images. Avec l'expertise haptique, les enfants ont plus de facilités pour développer une exploration efficiente et sont mieux armés pour prélever les informations pertinentes de l'image. Mais l'expertise haptique nourrit également le répertoire d'images mentales des enfants, en leur permettant soit de construire de nouvelles représentations soit d'enrichir des représentations déjà présentes. Il est donc primordial de familiariser les enfants déficients visuels dès leur plus jeune âge à divers supports tactiles, et notamment les livres tactiles. Eduquer les enfants déficients visuels au toucher et les familiariser le plus tôt possible avec cette modalité sensorielle est une ouverture sur le monde indiscutable. C'est une source d'autonomie et de découvertes intarissable.

La littérature met, en outre, en avant les difficultés qu'entraîne le manque de connaissances concernant les règles de transformation de l'objet dans le passage de la 3D à la 2D (Millar, 1975 ; Millar, 1991), en particulier chez les enfants aveugles qui n'ont pas accès aux informations visuelles. Afin de pallier ce manque de connaissances, il pourrait être intéressant de proposer régulièrement aux enfants déficients visuels de dessiner. Une pratique régulière du dessin pourrait les rendre familiers des représentations bidimensionnelles telles qu'on les trouve dans les livres tactiles, et augmenter leur degré d'expertise haptique. Cela leur ferait expérimenter les règles de transcodage entre la 3D et la 2D et leur permettrait d'affiner leurs représentations. Il faudrait réfléchir aux conditions de dessin, trouver un juste milieu entre un dessin libre et un dessin plus dirigé par l'éducateur. On peut imaginer faire travailler l'enfant sur l'objet en 3D (exploration de l'objet), puis en 2D (image tactile) et enfin lui faire dessiner l'objet. Il serait intéressant de mener une étude pour évaluer l'impact d'une pratique régulière de dessin chez les enfants aveugles sur leurs représentations mentales à travers leur compréhension d'images tactiles.

A propos du guidage, nous avons montré que le guidage sémantique amené par l'histoire qui accompagne l'image au sein du livre a une influence positive sur la compréhension de ces images par les enfants déficients visuels. D'autres travaux ont étudié l'impact du guidage de l'exploration donné par un tiers. Ils ont mis en évidence que le guidage de l'exploration améliore les performances de reconnaissances (D'Angiulli, et al., 1998) et aide les enfants au niveau de l'intégration des informations haptiques (Magee & Kennedy, 1980). Ce type de guidage est important. Sa présence dans l'interaction enfant-

adulte permet de systématiser les stratégies d'exploration haptique efficaces et de les optimiser en orientant l'enfant sur les traits distinctifs de l'objet exploré.

Concernant plus spécifiquement les stratégies d'exploration les plus adéquates pour accéder à une bonne compréhension de l'objet, nous n'avons pas mis en évidence une stratégie qui serait idéale. Dans nos travaux, aucune contrainte d'exploration n'a été imposée aux enfants. Ils ont exploré de manière totalement libre les images qui leur ont été présentées. Nous avons observé que chez les enfants déficients visuels, il était tout de même important de favoriser une exploration bimanuelle, faisant appel à des mouvements diversifiés. Ce que nous retenons c'est que, seul, le mouvement adéquat est peu de choses. C'est l'équilibre du système qui est déterminant dans la compréhension de l'image tactile : avoir les bons mouvements d'exploration, qui fournissent un nombre suffisant d'informations capables d'être intégrées et de faire écho à des connaissances déjà présentes.

2.2. CONSEILS PRATIQUES POUR LA CONCEPTION DES IMAGES TACTILES

Concevoir une image tactile n'est pas une affaire aisée. Cela fait appel à un sens de l'esthétisme certain, une grande créativité tout en réfléchissant à la réalité perceptive des enfants déficients visuels. Afin de permettre aux enfants qui n'ont pas accès à la modalité visuelle ou qui y ont accès de manière très limitée, de mieux comprendre les images qui illustrent les livres, nous allons faire quelques préconisations issues des conclusions de nos travaux.

Tout d'abord, notre première étude a mis en avant l'importance du guidage sémantique. Lire l'histoire avant et pendant l'exploration permet aux enfants déficients visuels d'accéder à une meilleure compréhension de l'image explorée. Elle a aussi un impact sur la façon dont les enfants utilisent leurs mains pour explorer. Il est donc important de porter tout autant de soin au texte qui accompagne l'image qu'à l'image elle-même. Texte et image s'illustrent l'un l'autre, et il faut être attentif aux liens qui les unissent. Il est important d'être particulièrement vigilant à pondérer les informations fournies par le texte, la forme et la texture de l'image, en particulier pour les livres destinés aux enfants les plus jeunes.

Notre troisième expérience révèle que les jeunes enfants (de moins de 6 ans) sont particulièrement sensibles aux textures composant les images. Ce point amène deux idées concernant la conception des illustrations tactiles. Tout d'abord, cela met en avant la force perceptive de la texture chez les enfants les plus jeunes, ce qui en fait un médium privilégié

pour attiser l'intérêt de l'enfant vis-à-vis de l'objet « livre ». Il faut cependant penser au possible effet délétère que peut avoir cette force perceptive, en venant perturber la perception de la forme et plus globalement la compréhension de l'objet représenté dans l'image. Il est donc important de réfléchir à la saillance de la texture utilisée, en fonction de l'information importante que l'on veut faire ressortir de l'image. De plus, la cohérence entre la texture et objet représenté est à penser, et ce à différents niveaux, et en premier lieu en rapport à une cohérence entre texture de l'objet dans la réalité et texture utilisée pour représenter l'objet dans le livre. Par exemple, dans la série d'images sur le petit âne (expérience 1), un arbre est représenté sur les images 2 - 3, et la texture utilisée pour représenter le feuillage de cet arbre est de la moquette. Un grand nombre d'enfants ont été perturbés par cette texture et ont identifié le feuillage comme étant l'âne (la moquette pouvant être en effet associée au pelage de l'âne). Il est également important que la cohérence entre texture et objet soit réfléchi à l'intérieur du même album illustré mais également entre albums (ne pas utiliser une même texture pour deux objets différents). Par exemple, toujours dans le cadre de notre première expérience, une des petites filles aveugles que nous avons rencontrée, âgée de 4 ans, est restée fixée sur les cheveux composés de papier de verre (texture particulièrement saillante) lorsqu'elle a exploré les images illustrant le dessin du bonhomme. Tout au long des images explorées, elle a continué à identifier les cheveux comme étant un « chemin ». Quelle réflexion cette fillette a-t-elle menée pour associer le concept de « chemin » au champ sémantique du « bonhomme » ? Son éducatrice nous a expliqué que quelques semaines auparavant, elles avaient travaillé ensemble sur la notion de chemin et que la texture utilisée pour représenter le chemin sur les supports pédagogiques était... du papier de verre. Le manque de flexibilité mentale est une spécificité cognitive avérée chez les jeunes enfants (Flavell, Flavell, & Green, 1983 ; German & Defeyter, 2000). Il n'est donc pas surprenant que cette petite fille ait du mal à dissocier une texture d'une notion qu'elle est en train d'apprendre et qui n'est pas encore bien maîtrisée. Avec l'âge et sans doute sous l'effet de l'expertise, cette flexibilité s'améliore, les connaissances s'enrichissent et se renforcent, laissant la possibilité d'être plus souple au niveau des associations entre forme et texture.

La première expérience a également révélé que les jeunes enfants déficients visuels, malgré leur sensibilité particulière vis-à-vis de la texture, montrent une bonne compréhension des images explorées. Rappelons que les images que nous leur avons montrées sont adaptées du point de vue du contenu (scènes tactiles simples et symétriques : bonhomme ou maison) et de la taille de l'espace de l'exploration (cohérence avec la taille des mains des enfants plus

jeunes). Cette adaptation des images à l'âge des enfants de façon à exprimer leur potentialité en termes d'exploration et de connaissance est sûrement une des raisons qui expliquent ces bons résultats de reconnaissance. Cette piste mérite d'être étudiée de manière plus approfondie, afin de pouvoir donner des informations plus précises aux concepteurs d'images tactiles quant à l'adaptation du contenu (sémantique et spatial) et de la taille des images.

Concernant la disposition spatiale des éléments au sein de la scène tactile, soulevons un dernier point mis en avant dans notre seconde expérience sur l'influence de l'orientation spatiale des objets représentés de profil. L'absence d'effet de l'orientation gauche-droite des représentations imagées reproduites de profil appuie l'hypothèse que l'espace perçu au moyen de la modalité haptique n'est pas forcément un espace euclidien (Blumenfeld, 1937 ; Kappers & Koenderink, 1999 ; Fernández-Díaz & Travieso, 2011), en particulier dans le cas où la position d'exploration ne permet pas de fournir des indices gravitaires (Gentaz & Hatwell, 1995 ; 1999), ce qui est le cas lorsque les enfants lisent un livre tactile (bras qui reposent sur une table). Les auteurs font alors l'hypothèse que les orientations ne sont plus perçues à travers des références euclidiennes, mais à travers un codage kinesthésique de la séquence de mouvements d'exploration (Hatwell, 2003). Ces conclusions appuient l'existence d'une cognition incarnée propre à la modalité haptique. Elles nous amènent à réfléchir sur un autre format d'images qui pourrait être proposé aux concepteurs de livres tactiles. Quelle serait l'implication des propriétés sensorimotrices et proprioceptives propres à l'exploration haptique des objets familiers dans les représentations prototypiques des enfants déficients visuels ?

Des travaux sur les compétences artistiques des personnes aveugles (Arnheim, 1990) postulent que l'exploration haptique fait appel à la modalité sensorielle la plus connectée avec la perception dynamique de la forme dans l'espace. Les individus déficients visuels et notamment les sujets aveugles, pour qui cette modalité est particulièrement opérante, seraient prédisposés à une sorte de « cognition artistique » (Kirby & d'Anguilli, 2011). Cette « cognition artistique », empreinte d'informations kinesthésiques, est en jeu face au livre tactile illustré. Elle est à prendre en compte dans la manière de percevoir les images et pourrait constituer une base de réflexion pour concevoir ces images. A travers cette idée, l'image ne serait plus purement visuelle. C'est dans cette direction que s'inscrivent nos perspectives en matière de recherches futures, que nous allons exposer à présent.

3. ENFANTS AVEUGLES ET COGNITION INCARNEE : VERS DES IMAGES « HAPTQUES »

Aujourd'hui, la majorité des images tactiles conçues sont élaborées à partir de ce que l'œil perçoit. Elles reproduisent un univers visuel bidimensionnel conventionnel, nécessairement éloigné de l'expérience phénoménale du jeune enfant aveugle. Et si nous imaginions de ne plus partir de ce que perçoit l'œil, mais d'entrer dans le monde créé par l'exploration des mains ? L'image tactile ne représenterait plus le contour facilement appréhendé par l'œil, mais reproduirait le parcours de la main sur les parties saillantes de l'objet. Dans ce cas, l'image n'est plus tactile, elle devient « haptique ». Fabriquer des images « haptiques » qui reflètent au mieux les expériences phénoménales haptiques (toucher et kinesthésie) des enfants aveugles, et non plus les caractéristiques de formes et contours telles qu'elles sont fournies par le système visuel, voilà où nous souhaitons maintenant nous aventurer.

De par leur expérience perceptive, les enfants aveugles sont plus sensibles aux interactions directes entre action (exploration haptique) et propriétés physiques de l'objet. On peut ainsi imaginer que les enfants aveugles sont plus enclins à développer une cognition incarnée (Barsalou, 2008), dans laquelle la représentation de l'objet est profondément marquée par les informations perceptives associées à sa manipulation. Si de telles représentations existent chez les enfants aveugles, élaborer des images qui s'en approchent ne leur permettrait-il pas de faciliter l'accès aux illustrations des livres tactiles ? Nous faisons l'hypothèse qu'un livre tactile illustré par des images qui reflètent l'expérience haptique de l'enfant lorsqu'il explore, manipule ou utilise l'objet représenté devrait être plus facile d'accès aux jeunes enfants aveugles que les livres contenant des images tactiles traduites à partir d'images visuelles. L'exploration de l'image haptique (image tactile incarnée) activerait les schémas sensorimoteurs associés à l'objet représenté et en faciliterait ainsi sa reconnaissance.

La difficulté qu'implique une telle hypothèse repose sur l'identification et l'élaboration d'icônotypes haptiques qui ont une valeur partagée entre enfants aveugles pour donner lieu à des représentations dignes de figurer dans un livre tactile. Dans une de nos précédentes études qui s'intéresse au dessin chez les enfants déficients visuels (Vinter, Fernandes, Orlandi, & Morgan ; 2013), nous avons recueilli des exemples de dessins typiques d'enfants aveugles congénitaux, dessins qui témoigneraient de représentations incarnées chez ces enfants. Ces dessins sont visibles dans la Figure 73.

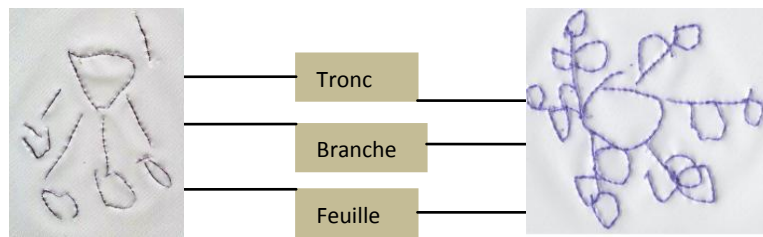


Figure 73. Arbre dessiné par des enfants aveugles précoces (Vinter et al., 2013)

Ces dessins sont peu intelligibles pour les personnes voyantes sans l'explication verbale qui les accompagne. Les enfants ont chaque fois dessiné un gros rond pour représenter le tronc de l'arbre qu'ils entourent de leurs bras, et ensuite tout autour des traits avec de petits ronds pour figurer les branches et les feuilles qu'ils explorent en projection horizontale. Le langage utilisé par ces enfants pour décrire ces mêmes objets avait également une forte composante sensorimotrice (Vinter et al. 2013).

Dans cette perspective, nous souhaiterions fabriquer un ensemble d'images haptiques d'objets familiers et tester leur accessibilité auprès d'enfants déficients visuels. Nous avons commencé à réfléchir à des iconotypes haptiques. Ce travail passe par une autre manière de penser l'image en relief, ce qui implique un travail important d'abstraction de nos représentations empreintes de la modalité visuelle, pour se recentrer sur les représentations des personnes déficientes visuelles, représentations en grande partie nourries par les perceptions haptiques. Nous avons comme objectif de mener un travail de réflexion avec des professionnels de l'adaptation de matériel pédagogique destiné aux enfants déficients visuels, mais aussi des enfants, des adolescents et des adultes aveugles, capables de verbaliser, de dessiner et de prendre du recul sur leurs images mentales. En préambule à ce projet, nous avons réalisé une petite série de prototypes d'images haptiques que nous présentons dans la Figure 74. Chaque image haptique a son pendant en image tactile, telle qu'on peut la trouver à l'heure actuelle dans les livres tactiles illustrés. Ces paires de prototypes ont été réalisées en collaboration avec le service Adaptations de l'Institut des Hauts-Thébaudières (Vertou, Loire Atlantique).

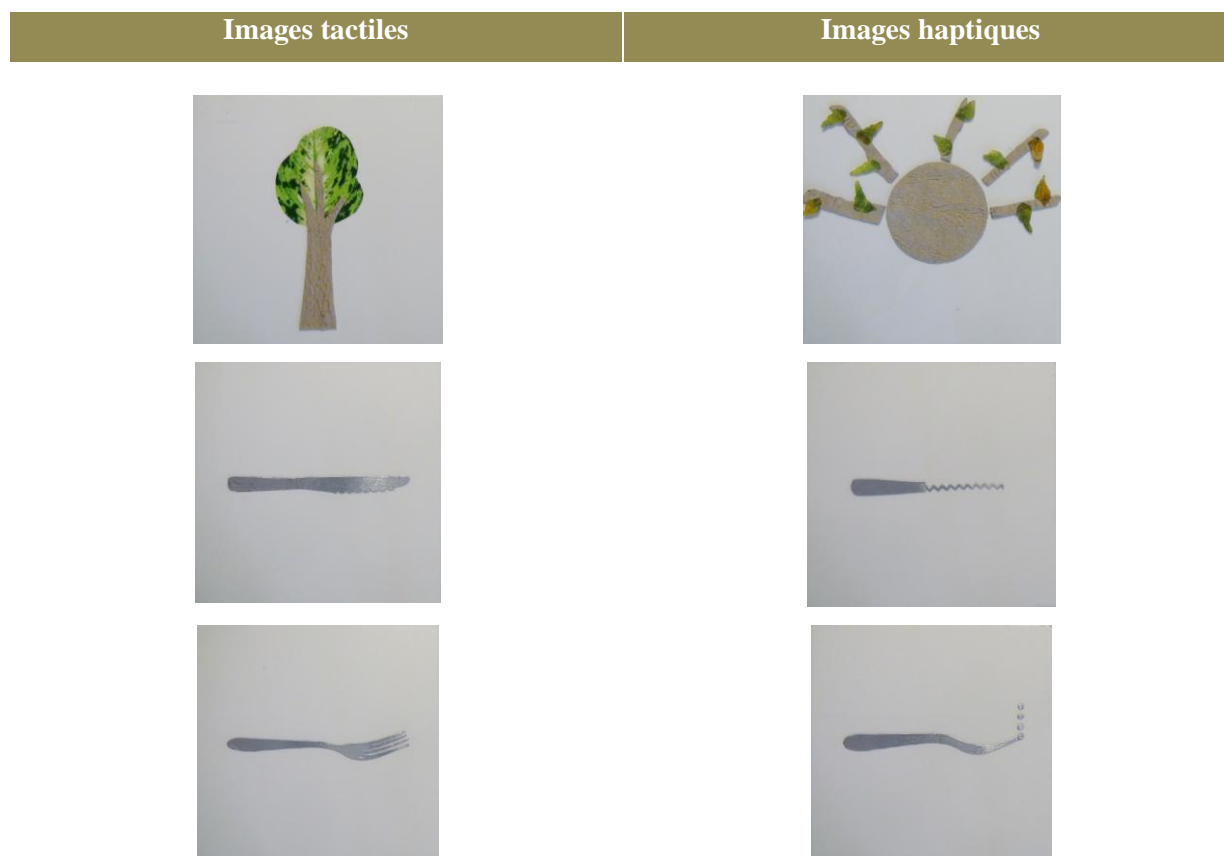


Figure 74. Paires d'images tactiles et d'images haptiques (arbre, couteau, fourchette). Prototypes réalisés en collaboration avec le service Adaptations de l'Institut les Hauts-Thébaudières (Vertou, Loire Atlantique).

Gardons cependant à l'esprit que le livre tactile est avant tout un objet de partage, partage entre aveugles, malvoyants et voyants, partage entre tous, petits et grands, peu importe la présence d'un handicap, handicap visuel ou autre type de handicap d'ailleurs. Si les représentations haptiques se révèlent pleines de sens pour les enfants déficients visuels, il faudra réfléchir à la manière de les amener dans le livre tout en conservant son caractère « universel ». Les enfants déficients visuels ont leur propre univers perceptif, c'est une réalité, on ne peut le nier. Ils évoluent dans un monde essentiellement pensé pour les voyants, auquel ils doivent s'adapter. L'image haptique serait peut-être un moyen pour les enfants aveugles de faire partager un petit bout de leur réalité perceptive et de leur imaginaire avec les voyants.

BIBLIOGRAPHIE

- Abravanel, E. (1968). The development of intersensory patterning with regards to selected spatial dimensions. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 33, 1-52.
- Alexander, J. M., Jonhson, K. E., & Schreiber, J. B (2002). Knowledge is not everything : analysis of children's performance on a haptic comparison task. *Journal of Experimental Child Psychology*, 82, 341-366.
- Alter, I. (1989). A cerebral origin for "directionality". *Neuropsychologia*, 27, 563-573.
- Arnheim, R. (1990). Perceptual aspects of art for the blind. *J Aesthet Educ*, 24, 57-65.
- Axelrod, S. (1959). Effects of early blind and sighted children on tactile and auditory tasks. *Reaserch Series ,n°7*. New-York : American Foundation for the Blind.
- Ballesteros, S., Millar, S, & Reales, J. (1998). Symmetry in haptic and in visual shape perception. *Perception & Psychophysics*, 60, 389-404.
- Ballesteros, S., Bardisa, S., Millar, S , & Reales, J. (2005). The haptic test battery: A new instrument to test tactual abilities in blind and visually impaired and sight children. *British Journal of Visual Impairment*, 623, 11-24.
- Ballesteros, S., & Reales, J. M. (2004). Visual and haptic discrimination of symmetry in unfamiliar displays extended in the z-axis. *Perception*, 33(3), 315-327.
- Barsalou, L.W. (2008). Grounded Cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 617-645.
- Behrmann, M., & Ewell, C. (2003). Expertise in tactile pattern recognition. *Psychological Science*, 14, 480-486.
- Berger, C., & Hatwell, Y (1993). Dimensional and overall similarity classifications in haptics: a developmental study. *Cognitive Development*, 8, 495-516.
- Berger, C., & Hatwell, Y (1995). Development of analytic vs global processing in haptics: the perceptual and decisional determinants of classification skills. *British Journal of Developmental Psychology*, 13, 143-162.
- Berger, C., & Hatwell, Y (1996). Developmental trends in haptic and visual free classifications : Influence of stimulus structure and exploration on decisional processes. *Journal of Experimental Child Psychology*, 63, 447-465.
- Berlà, E.P. (1972) Effects of physical size and complexity on tactual discrimination of blind children. *Exceptional Children*, 39 : 120-124.
- Berlà, E. P. (1974). Tactual orientation performance of blind children in different grade levels. American Foundation for the Blind, *Research Bulletin*, 27, 1-10.
- Berlà, E. P. (1981). Tactile scanning and memory for a spatial display by blind students. *Journal of Special Education*, 15, 341-350.
- Berlà, E. P., & Murr, M. J. (1972). *The effects of unimanual and bimanual methods of exploring tactile shapes on discrimination performance*. Unpublished report, American Printing House for the Blind.

- Bertelson, P., Mousty, P., & D'Alimonte, G. (1985). A study of braille reading : 2. patterns of hand activity in one-handed and two-handed reading. *The quarterly journal of experimental psychology*, 37A, 235-256.
- Blumenfeld W. (1937) The relationship between the optical and haptic construction of space. *Acta Psychologica*, 2, 125-174.
- Braswell, G. S., & Rosengren, K. S. (2002). The role of handedness in graphic production : Interaction between biomechanical and cognitive factors in drawing development. *British Journal of Developmental Psychology*, 2, 371-376.
- Brian, C. R., & Goodenough, F. L. (1929). The relative potency of color and form perception at various ages. *Journal of Experimental Psychology*, 12(3), 197-213.
- Brumaghin, S. H., & Brown, D. R. (1969). Perceptual equivalence between visual and tactual stimuli : An anchoring study. *Perception & Psychophysics*, 4, 175-179.
- Burgess, N. (2006). Spatial memory: How egocentric and allocentric combine. *Trends Cogn. Sci*, 10(12), 551–557.
- Carpenter, P.A. & Eisenberg, P. (1978). Mental rotation and the frame of reference in blind and sighted individuals. *Perception & Psychophysics*, 23 (2), 117-124.
- Catherwood, D. (1993). The haptic processing of texture and shape by 7-to 9-month-old infants. *British journal of developmental psychology*, 11(3), 299-306.
- Cattaneo, Z., Fantino, M., Silvanto, J., Tinti, C., Pascual-Leone, A., & Vecchi, T. (2010). Symmetry perception in the blind. *Acta Psychologica*, 134 (3), 398-402.
- Cattaneo, Z. & Vecchi, T. (2011). *Blind Vision: the Neuroscience of Visual Impairment*. Cambridge: The MIT press
- Cattaneo, Z., Vecchi, T., Monegato, M., Pece, A., & Cornoldi, C. (2007). Effects of visual impairment on mental representations activated by visual and tactile stimuli. *Brain Research*, 1148, 170–176.
- Chelin, A. (1999). *Programme d'éveil à la lecture et à l'écriture pour les enfants ayant une déficience visuelle*. Montréal : Association québécoise des parents d'enfants handicapés visuels.
- Chokron S & De Agostini M. (2000). Reading habits influence aesthetic preference. *Brain Research: Cognitive*, 10, 45-49.
- Claudet, P. (2014). Designing Tactile Illustrated Books. *Journal of Blindness Innovation and Research*, 4(1).
[enligne] disponible sur : <https://nfb.org/images/nfb/publications/jbir/jbir14/jbir040101abs.html>, accès en juillet 2014.
- Clay, M. M. (1991). *Becoming literate: The construction of inner control*. Portsmouth, NH: Heinemann.
- Coluccia E, Mammarella IC, Cornoldi C (2009) Centred egocentric, decentred egocentric, and allocentric spatial representations in the peripersonal space of congenital total blindness. *Perception*, 38(5), 679-693.

- Comtois, L. (1997). *Effets d'un programme de communication écrite sur la conscience de l'écrit de jeunes ayant une déficience visuelle*. Essai inédit, Université de Sherbrooke, 106 p.
- Corah, N. L. (1966). The influence of some stimulus characteristics on color and form perception in nursery-school children. *Child Development*, 205-211.
- Corsini, D. A & Pick, H. L. Jr. (1969). The effect of texture on tactually perceived length. *Perception and Psychophysics*, 5, 352-361.
- D'Angiulli, A., & Kennedy, J. M. (2000). Guided exploration enhances tactual picture recognition in blindfolded sighted children: Implication for blind children. *International Journal of Rehabilitation Research*, 23, 319-320.
- D'Angiulli, A., Kennedy J. M., & Heller, M. A. (1998). Blind children recognizing tactile pictures respond like sighted children given guidance in exploration. *Scandinavian Journal of Psychology*, 39, 187-190.
- Davidson, P. W. (1972). Haptic judgment of curvature by blind and sighted humans. *Journal of Experimental Psychology*, 93, 43-55.
- De Agostini, M., Kazandjian, S., Cavezian, C., Lellouch, J., & Chokron, S. (2010). Visual Aesthetic Preference: Effects of Handedness, Sex, and Age-Related Reading/Writing Directional Scanning Experience. *Writing*, 2(2), 105-116.
- Denis, S. & Boucher, J. L. (1991). Spatial representation of a two-dimensional pattern. *Canadian Journal of Psychology*, 45 (3), 405-414.
- Dodds, A. G., Howarth, C. I., & Carter, D. C. (1982). The mental maps of the blind: The role of previous visual experience. *Journal of Visual Impairment & Blindness*. 76(1), 5-12.
- Dreman, S.B. (1974). Directionality trends as a function of handedness and reading and writing habits. *American Journal of Psychology*, 87, 247-253.
- Dulin, D. (2007). Effects of the use of raised line drawings on blind people's cognition. *European journal of special needs education*, 22(3), 341-353.
- Dullin, D., Hatwell, Y. (2006). The effects of visual experience and of training in raised line materials on the mental spatial imagery of the blind. *Journal of Visual Impairment and Blindness* 100, 414-424
- Eimer, M. (2004). Multisensory integration : How visual experience shapes spatial perception. *Current Biology*, 14 (3), 115-117.
- Erhardt, R.P. (1973). Sequential levels in development of prehension. *American Journal Of Occupational Therapy*, 28, 592-596.
- Evans, P. M., & Smith, L. B. (1988). The development of identity as a privileged relation in classification: When very similar is just not similar enough. *Cognitive Development*, 3(3), 265-284.
- Fagot, J., Lacreuse, A., & Vauclair, J. (1994). Hand-movement profiles in a tactual-tactual matching task : Effect of spatial factors and laterality. *Perception & Psychophysics*, 56(3), 347-355.

- Fernández-Díaz, M., & Travieso, D. (2011). Performance in haptic geometrical matching tasks depends on movement and position of the arms. *Acta psychologica*, 136(3), 382-389.
- Flavell, J. H., Flavell, E. R., & Green, F. L. (1983). Development of the appearance-reality distinction. *Cognitive psychology*, 15(1), 95-120.
- Fraiberg, S. (1968). Parallel and divergent patterns in blind and sighted infants. *Psychoanalytic Study of the child*, 23, 264-299.
- Fraiberg, S. (1977). *Insights from the blind*. London : Souvenir Press.
- Fraiberg, S., Siegel, B.S. & Gibson, R. (1966). The role of sound in the search behavior of a blind infant. *Psychoanalytic Study of the Child*, 21, 327-357.
- Freeman, N. H. (1980). *Strategies of representation in young children: analysis of spatial skills and drawing processes*. London : Academic Press.
- Freides, D. (1974). Human information processing and sensory modality : Crossmodal functions, information complexity, memory and deficit. *Psychological Bulletin*, 81, 284-310. ;
- Gabin, C. P., & Bernstein, I. H. (1984). Visual and haptic perception of tridimensional solid forms. *Perception & Psychophysics*, 36, 104-110.
- Gaines, R. (1964). Color-form preferences and color-form discriminative ability of deaf and hearing children. *Perceptual and motor skills*, 18(1), 70-70.
- Galiano, A. R. (2013). *Psychologie cognitive et clinique du handicap visuel*. Paris/Bruxelles : De Boeck.
- Galiano, A. R., & Portalier, S. (2009). Les fonctions du langage chez la personne aveugle. Méta-analyse de la relation entre connaissance et langage. *L'Année psychologique*, 109(01), 123-153.
- Garner, W. R. (1974). *The processing of Information and Structure*. Potomac, MD : Erlbaum.
- Gaunet, F., & Rossetti, Y. (2006). Effects of visual deprivation on space representation: Immediate and delayed pointing toward memorised proprioceptive targets. *Perception*, 35(1), 107-124.
- Gentaz, E. (2005). Explorer pour percevoir l'espace avec la main. In J. Bullier & C. Thinus-Blanc (Eds). *Agir dans l'espace*. Paris : CNRS.
- Gentaz, E. (2000). Caractéristiques générales de l'organisation anatomo-fonctionnelle de la perception cutanée et haptique. In Y. Hatwell, A. Streri, & E. Gentaz (Eds.), *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*. Paris : Presses Universitaires de France, 19-34.
- Gentaz, E., & Ballaz, C. (2000). La perception visuelle des orientations et l'effet de l'oblique. *L'Année Psychologique*, 100, 715-744.
- Gentaz, E., & Hatwell, Y. (1995). The haptic'oblique effect'in children's and adults' perception of orientation. *Perception*, 24, 631-631.
- Gentaz, E., & Hatwell, Y. (1996). Role of gravitational cues in the haptic perception of orientation. *Perception & Psychophysics*, 58, 1278-1292.

- Gentaz, E., & Hatwell, Y. (1998). The haptic oblique effect in the perception of rod orientation by blind adults. *Perception & Psychophysics*, 60, 157-167.
- Gentaz, E., & Hatwell, Y. (1999). Role of memorisation conditions in the haptic processing of orientations and the "oblique effect". *British Journal of Psychology*, 90, 373-388.
- Gentaz, E., & Hatwell, Y. (2000). Le traitement haptique des propriétés spatiales et matérielles des objets, In Y. Hatwell, A. Streri, E. Gentaz (Eds.), *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*, Paris : PUF, 129-162.
- Gentaz, E., & Tschopp, C. (2002). The oblique effect in visual perception of orientations. In S. Shovov (Ed.), *Advances in Psychology Research, Volume 11*. New-York : Nova Sciences Publishers, 137-163.
- German, T. P., & Defeyter, M. A. (2000). Immunity to functional fixedness in young children. *Psychonomic Bulletin & Review*, 7(4), 707-712.
- Giasson, J., & Thériault, J. (1983). *L'apprentissage et enseignement de la lecture*. Montréal : Éditions Ville Marie.
- Gibson, J. J. (1962). Observations on active touch. *Psychological Review*, 69, 477-490.
- Gibson, J. J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Boston : Houghton Mifflin Company.
- Gliner, C. R., Pick, A. D., Pick, H. L., & Hales, J. A. (1969). A developmental investigation of visual and haptic preferences for shape and texture. *Monographs of the Society for Research on Child Development*, 34, n° 6 (serial number 130), 1-40.
- Gordon, I. E., & Morison, V. (1982). The haptic perception of curvature. *Perception & psychophysics*, 31, 446-450.
- Gottesman, M. (1971). A comparative study of Piaget's developmental schema of sighted children with that of a group of blind children. *The Society for Research in Child Development*, 42, 573-580.
- Halpern, A. R., & Zatorre, J. (1999). When that tune runs through your head: a PET investigation of auditory imagery for familiar melodies; *Cerebral Cortex*, 9 (7), 697-704.
- Hatwell, Y. (1986). *Toucher l'espace : la main et la perception tactile de l'espace*. Lille : Presses Universitaires de Lille.
- Hatwell, Y. (2003). *Psychologie cognitive de la cécité précoce*. Paris : Dunod.
- Hatwell, Y., Orliaguet, J. P., & Brouty, G (1990). Effects of objects properties, attentional constraints and manual exploratory procedures on haptic perceptual organization : A developmental study. In H. Bloch et B. Bertenthal (Eds). *Sensory-motor organizations and development in infancy and early childhood* (p 315-335), Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Hatwell, Y., Osiek, C., & Jeanneret, V. (1973). L'exploration perceptive tactile d'un ensemble d'objets chez l'enfant et chez l'adulte. *L'Année Psychologique*, 73, 419- 441.

- Heller, M. A. (1986). Active and passive tactile Braille recognition. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 24, 201-202.
- Heller, M. A. (1989a). Picture and pattern perception in the sighted and blind : the advantage of the late blind. *Perception*, 18, 379-389.
- Heller, M. A. (1989b). Texture perception in sighted and blind observers. *Perception and Psychophysics*, 48, 49-54.
- Heller, M. A. (1992). "Haptic dominance" in form perception : Vision versus proprioception. *Perception*, 21, 655-660.
- Heller, M. A. (2000). Conclusions: the San Marino discussion. In M. A. Heller (Ed.), *Touch, Representation, and Blindness* (pp. 183–214). Oxford: University Press.
- Heller, M. A., Brackett, D. D., Scroggs, E., Steffen, H., Heartherly, K., & Salik, S. (2002). Tangible pictures: Viewpoints effects and linear perspective in visually impaired people. *Perception*, 31, 747-769.
- Heller, M. A., Calcaterra, J. A., Tyler, L. A., & Burson, L. L. (1996). Production and interpretation of perspective drawings by blind and sighted people. *Perception*, 25, 321-334.
- Heller, M. A., Riddle, T., Fulkerson, E., Wemple, L., Walk, A. , McClure, G., Kranz, S. & Klaus, P. (2009). The influence of viewpoint and object detail in blind people when matching pictures to complex objects. *Perception*, 38, 1234-1250
- Heller, M. A., Wilson, K., Steffen, H., Yoneyama, K. & Brackett, D. D. (2003). Superior haptic perceptual selectivity in late-blind and very-low-vision subjects. *Perception*, 32, 499-511.
- Hermelin, B., & O'connor, N. (1971). Functional asymmetry in the reading of Braille. *Neuropsychologia*, 9(4), 431-435.
- Holmes, E., Hughes, B., & Jansson, G. (1998). Haptic perception of texture gradients. *Perception*, 27, 993-1008.
- Huang, I. (1945). Abstraction of form and color in children as a function of the stimulus objects. *The Pedagogical Seminary and Journal of Genetic Psychology*, 66(1), 59-62.
- Humphrey, T. (1964). Some correlations between the appearance of human fetal reflexes and the development of the nervous system. *Progress in Brain Research*, 4, 93-135.
- Ittyerah, M. (1993). Hand preferences and hand ability in congenitally blind children. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 46B, 35–50.
- Ittyerah, M. (2000). Hand skill and hand preference in blind and sighted children. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain, and Cognition*, 5(3), 221–235.
- Ittyerah M, Gaunet F, Rossetti Y (2007) Pointing with the left and right hands in congenitally blind children. *Brain Cogn*, 64, 170–183.

- Jalbert, Y., Champagne, P. et collaborateurs. (2005) Le développement de la conscience de l'écrit chez l'enfant aveugle de 0 à 5 ans : Recension des Écrits, Institut Nazareth et Louis-Braille [enligne] disponible sur : www.inlb.qc.ca/publications/recensiondesecrits.aspx, accès en juillet 2014.
- Jones, B. (1972). The development of cutaneous and kinaesthetic localization in blind and sighted children. *Developmental Psychology*, 6, 349-352.
- Kalagher, H., & Jones, S. S. (2011). Developmental change in young children's use of haptic information in a visual task: the role of hand movements. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108, 293-307.
- Kappers, A. M., & Koenderink, J. J. (1999). Haptic perception of spatial relations. *Perception*, 28, 781-796.
- Karavatos, A., Kaprinis, G., & Tzavaras, A. (1984). Hemispheric specialization for language in the congenitally blind: The influence of the Braille system. *Neuropsychologia*, 22(4), 521-525.
- Katz, D. (1925). *Der aufbau der tastwelt* (The world of touch). Translated by L. Krueger (1989). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Kebbe, H., & Vinter, A. (2013). How culture, age, and manual dominance affect directionality in drawing side view objects. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 44(1), 160-172.
- Kennedy, J. M. (1997). Comment les aveugles dessinent? *Pour la science*, 233, 76-81.
- Kennedy, J. M. (2003). Drawings from Gaia, a blind girl. *Perception*, 32 (3), 1059-1071.
- Kennedy, J. M., & Fox, N. (1977). Pictures to see and pictures to touch. In D. Perkins & D. Leonar (Eds.), *The Art and Cognition* (pp.118-135). Johns Hopkins University Press.
- Kennedy, J. M., & Juricevic, I. (2003). Haptics and projection: Drawings by Tracy, a blind adult *Perception*, 32(9), 1059-1072.
- Kennedy, J. M., & Juricevic, I. (2006). Projection and Pictures for the Blind, in *Touch and blindness: Psychology and neuroscience*. Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 73-93.
- Kirby, M., & D'Anguilli, A. (2011). From inclusion to creativity through haptic drawing: Unleashing the "untouched" in educational contexts. *The Open Education Journal*, 4, 67-79.
- Klatzky, R. L., & Lederman, S. J. (1987). The intelligence hand. In G. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol 21, pp 121-151). New-York: Academic Press.
- Klatzky, R. L., & Lederman, S. J. (1993). Toward a computational model of constraint-driven exploration and haptic object identification. *Perception*, 22, 597-621.
- Klatzky, R. L., Loomis, J. M., Lederman, S. J., Wake, H., & Fujita, N. (1993). Haptic identification of objects and their depictions. *Perception & Psychophysics*, 54(2), 170-178
- Klatzky, R. L., Lederman, S. J., & Metzger, V. (1985). Identifying objects by touch : An "expert system". *Perception & Psychophysics*, 37(4), 299-302

- Klatzky, R. L., Lederman, S., & Reed, C. (1987). There's more to touch than meets the eye : The salience of object attributes for haptics with and without vision. *Journal of Experimental Psychology General*, 116(4), 356-369.
- Klatzky, R. L., Lederman, S., & Reed, C. (1989). Haptic integration of object properties : Texture, hardness, and planar contour. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception & Performance*, 15(1), 45-57.
- Klein, S. D. (1966). The development of tactual perception: Processes and achievements. In S. Wapner & B. Kaplan (Eds.), *Heinz Werner : Papers in memoriam*, Worcester, Mass., Clark University Press.
- Koenig, A. J., & Holbrook, C. (2000). Literacy skills. Dans A. J. Koenig, & C. Holbrook (Éds.), *Foundations of education, Vol. 2 : Instructional strategies for teaching children and youths with visual impairments* (2e éd.), (pp. 264-239). New York : AFB Press.
- Kosslyn, S. M. (1973). Scanning visual images: Some structural implications. *Perception & Psychophysics*, 14, 90-94.
- Kosslyn, S. M. (1980). *Image and mind*. Harvard University Press.
- Kosslyn, S. M. (1994). *Image and brain*. The MIT Press.
- Kosslyn, S. M. (2006). *Graph design for the eye and mind*. Oxford University Press.
- Lakatos, S. & Marks, L. (1998). Haptic underestimation of angular extent. *Perception*, 27, 737-754.
- Lakatos, S., & Marks, L. E. (1999). Haptic form perception: Relative salience of local and global features. *Perception & psychophysics*, 61(5), 895-908.
- LaMotte, R. H., & Srinivasan, M. A. (1996). Neural encoding of shape: responses of cutaneous mechanoreceptors to a wavy surface stroked across the monkey fingerpad. *Journal of neurophysiology*, 76(6), 3787-3797.
- Landau, B. (1991). Spatial representation of objects in the young blind child. *Cognition*, 38, 145-178.
- Lederman, S. J. (1974). Tactile roughness of grooved surfaces: The touching process and effects of macro-and microsurface structure. *Perception & Psychophysics*, 16(2), 385-395.
- Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (1987). Hand movements : a window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology*, 19, 342-368.
- Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (1993). Extracting object properties through haptic exploration. *Acta Psychologica*, 84, 29-40.
- Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (1997). Relative availability of surface and object properties during early haptic processing. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 23(6), 1680-1707.
- Lederman, S. J., Klatzky, R. L., Chataway, C., & Summers, C. D. (1990). Visual mediation and the haptic recognition of 2 dimensionnal pictures of common objects. *Perception and Psychophysics*, 4, 54-64.

- Levy, L. M., Henkin, R. I., Lin, C. S., Hutter, A., & Schellinger, D. (1999). Odor memory induces brain activation as measured by functional MRI. *Journal of Computer Assisted Tomography*, 23 (4), 487-498.
- Locher, P. J., & Wagemans, J. (1993), Effects of element type and spatial grouping on symmetry detection. *Perception*, 22, 565-587.
- Lomov, B. F. (1966). Manual interaction in the process of tactile perception. In London, I. D. (Ed.), *Psychological Research in the USSR*. Moscou : Progress Publisher,
- Loomis, J. .M. (1985). Tactile recognition of raised characters: A parametric study. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 23, 18-20.
- Machilsen, B., Pauwels M., &Wagemans J. (2009). The role of vertical mirro symmetry in visual shape detection. *Journal of Vision*, 9 (12), 1-11
- Magee, L. E., & Kennedy, J. M. (1980). Exploring pictures tactually. *Nature*, 283, 287-288.
- Marmor, G.S., Zaback, L.A. (1976). Mental rotation by the blind: does mental rotation depend on visual imagery? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2, 515–521.
- Merabet, L. B., Rizzo, J. F., Amedi, A., Somers, D. C., & Pascual-Leone, A. (2005). What blindness can tell us about seeing again: merging neuroplasticity and neuroprostheses. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(1), 71-77.
- Millar, S. (1975). Spatial memory by blind and sighted children. *British Journal of Psychology*, 66(4), 449-459.
- Millar, S. (1986). Aspects of size, shape and texture in touch : redundancy and interference in children's discrimination of raised dot patterns. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 27(3), 367-381.
- Millar, S. (1987). The perceptual" window" in two-handed braille: do the left and right hands process text simultaneously??. *Cortex*, 23(1), 111-122.
- Millar, S. (1991). A reverse lag in the recognition and production of tactual drawings: Theoretical implications for haptic coding, in *The psychology of touch*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 301-325.
- Millar, S. (1994). *Understanding and representing space. Theory and evidence from studies with blond and sighted children*. Oxford : Clarendon Press.
- Millar, S. (1997). Theory, experiment and practical application in research on visual impairment. *European Journal of Psychology of Education*, 12(4), 415–430.
- Millar, S. (2008). Space and sense. East Sussex, England: Psychology Press
- Millar, S., Al-Attar, Z., 2002. Müller-Lyer illusions in touch and vision: implications for multisensory processes. *Perception & Psychophysics* 64 (3), 353–365.
- Millar, S., Al-Attar, Z., 2004. External and body-centred frames of references in spatial memory: evidence from touch. *Perception & Psychophysics* 66 (1), 51–59.

- Molina, M. & Jouen, F. (1998). Modulation of the palmar grasp behavior in neonates according to texture property. *Infant Behavior and Development*, 21, 659-666.
- Monegato, M., Cattaneo, Z., Pece, A., & Vecchi, T. (2007). Comparing the Effects of Congenital and Late Visual Impairments on Visuospatial Mental Abilities. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 101(5), 278-295.
- Morhange-Majoux, F., Cougnot, P., & Bloch, H. (1997). Hand tactual exploration of textures in infants from 4 to 6 months. *Journal of Early Development and Parenting*, 6, 127-135.
- Morrongiello, B. A., Humphrey, C. K., Timney, B., Choi, J., & Rocca, P. T. (1994). Tactual object exploration and recognition in blind and sighted children. *Perception*, 23, 833-848.
- Nachson, I., Argaman, E., & Luria, A. (1999). Effects of directional habits and handedness on aesthetic preference for left and right profiles. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 30(1), 106-114.
- Nerlich, M. (1990). Qu'est-ce qu'un iconotexte ? Réflexions sur le rapport texte-image photographique dans La Femme se découvre d'Evelyne Sinnassamy in *Iconotextes*. Edited by A. Montandon, Paris : Ophrys, (p. 255-302) op. cit. p. 268.
- Nolan, C. Y., & Morris, J. E. (1960). Further results in the development of a test of roughness discrimination. *International Journal for the Blind*, 10, 48-50.
- Owen, D., & Brown, D. (1970). Visual and tactual form discrimination : A psychophysical comparison within and between modalities. *Perception & Psychophysics*, 7, 302-306.
- Palmer, S. E., Gardner, J. S., & Wickens, T. D. (2008). Aesthetic issues in spatial composition: Effects of position and direction on framing single objects. *Spatial Vision*, 21(3), 421-449.
- Paoletti, R. F. (1993). Comparaison des modèles de préférence manuelle d'enfants aveugles et d'enfants voyants. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 47(4), 630-638.
- Pathak, K., & Pring, L. (1989). Tactual picture recognition in congenitally blind and sighted children. *Applied Cognitive Psychology*, 36, 337-350.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual-coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1947). *La représentation de l'espace chez l'enfant*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Picard, D., Albaret, J.-M., & Mazella, A. (2013). Haptic identification of raised-line drawings by children, adolescents and young adults: An age-related skill. *Haptics-e*, 5, 24-28.
- Picard, D., Albaret, J. M., & Mazella, A. (2014). Haptic identification of raised-line drawings when categorical information is given: A comparison between visually impaired and sighted children. *Psicológica*, 35(2), 277-290.
- Picard, D., & Monnier, C. (2009). Short-term memory for spatial configurations in the tactile modality: A comparison with vision. *Memory*, 17, 789-801.

- Pick, H. L. (1974). Visual coding on non-visual spatial information. In R. B. MacLeod & H. L. Pick (Eds), *Perception* (p.153-165), Ithaca, NY, Cornell University Press.
- Pick, H. L; Warren, D. H., & Hay, J. C. (1969). Sensory conflict in judgments of spatial direction. *Perception & Psychophysics*, 6, 203-205.
- Portalier S. (1992). Approche du développement spécifique de l'enfant déficient visuel. In *Naître et grandir différent*. Edition CREA Rhône-Alpes, 148-158.
- Portalier, S. (1996). *Le traitement cognitif des images tactiles*. In Actes du colloque PCH'96 : Perception Cognition Handicap, (pp. 197-200). Lyon, France.
- Portalier, S. (1999). Analyse différentielle des processus vicariants. In Huteau M, Lautrey J (éds), *Approches différentielles en Psychologie*, Rennes : Presses Universitaires de Rennes, 67-73.
- Pring, L., & Rusted, J. (1985). Pictures for the blind: an investigation of the influence of pictures on the recall of texts by blind children. *British Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Performance*, 25, 755-774.
- Pylyshyn, Z. W. (1973). What the mind's eye tells the mind's brain: A critique of mental imagery. *Psychological bulletin*, 80(1), 1.
- Pylyshyn, Z. W. (1981). Psychological explanations and knowledge-dependent processes. *Cognition*, 10(1), 267-274.
- Pylyshyn, Z. W. (1984). *Computation and cognition*. Cambridge, MA: MIT press.
- Pylyshyn, Z. W. (2003). *Seeing and visualizing: It's not what you think*. The MIT Press.
- Revesz, G. (1950). *Psychology and Art of the Blind*. London, Longmans Green,
- Richard, F., Vaz-Cerniglia, C., & Portalier, S. (2004). Evolution des procédures d'exploration haptique chez des sujets voyants, aveugles tardifs et aveugles précoces. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée*, 54, 227-236.
- Rossetti, Y. (1998). Implicit short-lived motor representations of space in brain damaged and healthy subjects. *Consciousness and Cognition*, 7, 520-558.
- Rossetti Y, Gaunet F, Thinus-Blanc C (1996) Early visual experience affects memorization and spatial representation of proprioceptive targets. *NeuroReport*, 7, 1219-1223
- Rossetti, Y., & Pisella, L. (2002). Several 'vision for action' systems: A guide to dissociating and integrating dorsal and ventral functions (Tutorial). *Attention and performance XIX: Common mechanisms in perception and action*, 62-119.
- Rossetti, Y., & Régnier, C. (1995). Representations in action: pointing to a target with various representations. *Studies in perception and action III*, 233-236.
- Rovira, K., Deschamps, L., & Baena-Gomez, D. (2011). Mental rotation in blind and sighted adolescents: The effects of haptic strategies. *European Review of Applied Psychology*, 61, 153-160.

- Ruff, H. A., Saltarelli, L. M., Capozzoli, M. & Dubiner, K. (1992). The differentiation of activity in infants' exploration of objects. *Developmental Psychology*, 28, 851-861.
- Russier, S. (1999). Haptic discrimination of two-dimensional raised-line shapes by blind and sighted adults. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 93, 421-426.
- Santa, J. L. (1977). Spatial transformations of words and pictures. *Journal of Experimental Psychology : Human Learning and Memory*, 3(4), 418-427.
- Schellingerhout, R., Smitsman, A.W., & Van Galen, G.P. (1997). Exploration of surface-textures in congenitally blind infants. *Child Care Health Review*, 23, 247-264.
- Schellingerhout, R. (1998). *Surface texture as a source of haptic spatial information for blind children*. Katholieke Universiteit.
- Schwarzer, G., Küfer, I., & Wilkening, F. (1999). Learning categories by touch: On the development of holistic and analytic processing. *Memory & Cognition*, 27, 868-877.
- Schwartz, D. L., & Black, J. B. (1996). Shuttling between depictive models and abstract rules: Induction and fallback. *Cognitive science*, 20(4), 457-497.
- Shannon, L. (1978). Left-right sequencing in unschooled children : A function of learning or maturation. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 971-976
- Shanon, B. (1979). Lateralization effects in response to words and non-words. *Cortex*, 15(4), 541-549.
- Shepp, B. E. & Swartz, K. B. (1976). Selective attention and the processing of integral and non-integral dimensions: a developmental study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 22, 73-85
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 701-703.
- Shepard, R. N., & Cooper, L. A. (1982). *Mental images and their transformations*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Siegel, A. W., & Vance, B. J. (1970). Visual and haptic dimensional preference : A developmental study. *Developmental Psychology*, 3, 264-266
- Simpkins, K. E. (1979). Tactual discrimination of shapes. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 73, 93-101.
- Simpkins, K. E., & Siegel, A. J. (1979). The blind child's construction of the projective straight line. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 73, 233-238.
- Smith, L. B. (1989). A model of perceptual classification in children and adults. *Psychological Review*, 7, 811-824.
- Smith, L. B., & Kemler, D. G. (1977). Developmental trends in free classification: Evidence for a new conceptualization of perceptual development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 24(2), 279-298.
- Stellwagon, W. T., & Culbert, S. S. (1963). Comparison of blind and sighted subjects in the discrimination of texture. *Perceptual and Motor Skills*, 17, 61-62.

- Stratton, J. M. (1996). Emergent literacy : A new perspective. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 90(3), 177-183.
- Streri, A. (1987). Tactile discrimination of shape and intermodal transfer in 2-to-3 month old infants. *British Journal of Developmental Psychology*, 5, 213-220.
- Streri, A. (2000a). Exploration et latéralisation manuelle. In Y. Hatwell, A. Streri, E. Gentaz (Eds.), *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*, Paris : PUF, 85-106.
- Streri, A. (2000b). Les coordinations intermodales chez le bébé. In Y. Hatwell, A. Streri, E. Gentaz (Eds.), *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*, Paris : PUF, 193-210.
- Streri, A. (1993). *Seeing, reaching, touching. The relations between vision and touch in infancy*. Editions Halverster Wheatsheaf (Simon & Schuster International Group).
- Streri, A. (2003). L'intermodalité. In Delorme, A. & Flückiger, M. (coord.) (2003) *Perception et Réalité : une introduction à la psychologie de la perception*. Bruxelles : De Boeck Université. pp. 195-221.
- Streri, A., & Gentaz, E. (2003). Cross-modal recognition of shape from hand to eyes in human newborns. *Somatosensory and Motor Research*, 20, 13–18.
- Streri, A., Lhote, M. & Dutilleul, S. (2000). Haptic perception in the newborn. *Developmental Science*, 3, 319-327.
- Streri, A., & Milhet, S. (1988). Equivalences intermodales de la forme des objets entre la vision et le toucher chez les bébés de 2 mois. *L'Année Psychologique*, 88, 329–341.
- Streri, A., & Molina, M. (1993). Visual-tactual and tactual-visual transfer between objects and pictures in 2-month-old infants. *Perception*, 22, 1299–1318.
- Suchman, R. G. (1966). Cultural differences in children's color and form preferences. *The Journal of social psychology*, 70(1), 3-10.
- Suchman, R. G., & Trabasso, T. (1966). Color and form preference in young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 3(2), 177-187.
- Taguchi, M., & Noma, Y. (2005). Relationship between directionality and orientation in drawings by young children and adults. *Perceptual and motor skills*, 101(1), 90-94.
- Teale, W. & Sulzby, E. (1989). Emerging literacy: New perspectives. In *Emerging Literacy: Young Children Learn to Read and Write*. Edited by D. Strickland and L. Morrow. Newark, DE: International Reading Association.
- Theurel, A., Polato, E., Caldironi, P., Lanners, J., Claudet, P., Caldin, R & Gentaz, E.. (2010). The effect of joint reading on the tactile comprehension of a tactile illustrated book by early blind children. *Terra Haptica*, 1, 31–40.

- Theurel, A., Witt, A., Claudet, P., Hatwell, Y., & Gentaz, E. (2013). Tactile picture recognition by early blind children : the effect of illustration technique. *Journal of Experimental Psychology*, 19(3), 233-240.
- Thinus-Blanc, C., & Gaunet, F. (1997). Representation on space in blind persons: Vision as a spatial sense? *Psychological Bulletin*, 121 (1), 20-42.
- Thompson, W. L., Kosslyn, S. M., Hoffman, M. S., & Van Der Kooij, K. (2008). Inspecting visual mental images: Can people “see” implicit properties as easily in imagery and perception?. *Memory & cognition*, 36(5), 1024-1032.
- Treisman, A., & Gormican, S. (1988). Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, 95, 15-48.
- Tröster, H. & Brambring, M. (1993). Early motor development in blind infants. *Journal of applied developmental psychology*, 42, 192-197.
- Twitchell, T. E. (1965). The automatic grasping responses of infants. *Neuropsychologia*, 3, 47–259.
- Twitchell, T. E. (1970). Reflex mechanisms and the development of prehension. In K. Connolly (Ed.), *Mechanisms of motor skill development*. New York: Academic Press.
- Vaid, J. (1995). Script directionality affects nonlinguistic performance: Evidence from Hindi and Urdu. In *Scripts and literacy* (pp. 295-310). Springer Netherlands.
- Vaid, J. (2011). Asymmetries in representational drawing: Alternatives to a laterality account. *Spatial dimensions of social thought*, 231-255.
- Vaid, J., Singh, M., Sakhuja, T., & Gupta, G. C. (2002). Stroke direction asymmetry in figure drawing: influence of handedness and reading/writing habits. *Brain and cognition*, 48(2-3), 597-602.
- Van Der Linden, S. (2003). L’album, entre texte, image et support. *La revue des livres pour enfants*, 214, 68-77
- Van Sommers, P. (1984). *Drawing and cognition: Descriptive and experimental studies of graphic production processes*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Vinter, A., Fernandes, V., Orlandi O. & Morgan P. (2012). Exploratory procedures of tactile images in visually impaired and blindfolded sighted children: How they relate to their consequent performance in drawing. *Research in development disabilities*, 33, 1819-1831.
- Vinter, A., Fernandes, V., Orlandi, O., & Morgan, P. (2013). Verbal definitions of familiar objects in blind children reflect their peculiar perceptual experience. *Child: care, health and development*, 39(6), 856-863.
- Wagemans, J. (1995). Detection of visual symmetries. *Spatial vision*, 9(1), 9-32.
- Walk, R. D. (1965). Tactual and visual learning of forms differing in degree of symmetry. *Psychonomic Science*, 2(1-12), 93-94.

- Waller, D., & Hodgson, E. (2006). Transient and enduring spatial representations under disorientation and self-rotation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32(4), 867-882.
- Warren, D. H. (1984). *Blindness and early childhood development*. New York : American Foundation for the Blind.
- Wijntjes, M. W. A., Lienen, T. van, Verstijnen, I. M., & Kappers, A. M. L. (2008). Look what I have felt: unidentified haptic line drawing are identified after sketching. *Acta Psychologica*, 128, 255-263.
- Withagen, A., Kappers, A. M. L., Vervloed, M. P. J., Knoors, H., & Verhoeven, L. (2012). Haptic object matching by blind and sighted adults and children. *Acta Psychologica*, 139, 261–271.
- Wormsley, D. P. (1997). Fostering emergent literacy. Dans D. P. Wormsley, & F. M. Andrea (Éds), *Instructional strategies for braille literacy* (pp. 17-54). New York : AFB Pres
- Yates, F. A.(1966). *The Art of Memory*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Zaporozhets, A. V. (1965). The development of perception in the preschool child. *Monographs of the Soci.*

ANNEXES

La classification de la déficience visuelle de l'OMS est intéressante, car elle ne se limite pas à utiliser l'acuité visuelle comme seul critère de classification. En effet, la mesure de l'acuité visuelle est complexe et les conditions dans lesquelles les chiffres sont obtenus ne reflètent pas la réalité de l'environnement dans lequel évoluent les personnes atteintes de troubles visuels (contraste, luminosité). Dans sa classification, l'OMS prend donc en compte un second paramètre non négligeable : la réduction du champ visuel. La déficience visuelle est ainsi classée en cinq catégories en fonction de l'acuité visuelle avec la correction portée (AV) et du champ visuel (CV) du sujet.

- Catégorie 0 : **déficience visuelle légère ou absente**
- Catégorie 1 : **déficience visuelle modérée**. AV binoculaire corrigée $< 3/10^{\circ}$ et $\geq 1/10^{\circ}$ avec CV d'au moins 20° ;
- Catégorie 2 : **déficience visuelle sévère**. AV binoculaire corrigée $< 1/10^{\circ}$ et $\geq 1/20^{\circ}$ avec CV ;
- Catégorie 3 : **déficience visuelle profonde**. AV binoculaire corrigée $< 1/20^{\circ}$ et $\geq 1/50^{\circ}$ ou CV entre 5° et 10° ;
- Catégorie 4 : **cécité sévère**. AV binoculaire corrigée $< 1/50^{\circ}$ avec une perception lumineuse préservée ou CV $< 5^{\circ}$;
- Catégorie 5 : **cécité absolue** sans perception lumineuse

Source : CIM 10 2^{nde} édition, Volume 2, Chapitre VII: Maladies des yeux et des annexes, page 126.

2.1. DEMANDE D'AUTORISATION



Laboratoire
d'Etude
de l'Apprentissage
et du Développement

Dijon, [REDACTED]

Oriana ORLANDI
Doctorante en Psychologie

Madame, Monsieur,

Dans le cadre d'un projet de recherche visant à améliorer les albums tactiles illustrés à l'attention des enfants déficients visuels nous effectuons une étude sur la perception tactile chez les enfants.

Afin d'étudier ces explorations tactiles, nous avons mis en place des petits exercices ludiques au cours desquels l'enfant doit explorer tactilement une série d'images qui lui est présentée et dire ce qu'il perçoit. Pour pouvoir analyser de manière fine le comportement des mains vis-à-vis des images, nous utilisons une petite caméra. Cette dernière est montée sur un pied de telle sorte qu'uniquement les mains de l'enfant sont filmées. L'anonymat reste total.

Nous sollicitons donc votre accord pour la participation de votre enfant à cette étude.

Si vous êtes d'accord pour que votre enfant participe, veuillez retourner à l'enseignant(e) de votre enfant le coupon ci-dessous dûment complété.

Je vous prie de recevoir, Madame, Monsieur, l'expression de mes meilleures salutations.

Oriana Orlandi
Doctorante en Psychologie

J'autorise mon enfant à participer aux exercices de perception tactiles.

Prénom : Nom : Classe :

Nom du représentant légal:

Signature précédée de la mention « lu et approuvé »

2.2. FICHE DE RENSEIGNEMENTS

1

FICHE D'INFORMATIONS

Prénom de l'enfant :
 Date de Naissance : Langue maternelle :
 Sexe : masculin ou féminin
 Latéralité : droitier ou gaucher ou indéterminé
 Niveau Scolaire :
 Profession du père : Profession de la mère :
 Nombre de frères et sœurs : Rang dans la fratrie :

• **Acuité visuelle du meilleur œil, avec la meilleure correction :**

Cocher la case correspondant aux capacités visuelles de votre enfant :

Cocher la case correspondant à la situation de votre enfant	Acuité visuelle du meilleur œil, avec la meilleure correction	
	Maximum (acuité inférieure à)	Minimum (acuité égale ou supérieure à)
	3/10 ^{ème} (0,3)	1/10 ^{ème} (0,1)
	1/10 ^{ème} (0,1)	1/20 ^{ème} (0,05)
	1/20 ^{ème} (0,05)	1/60 ^{ème} (0,02) (capacité de compter les doigts à 1 mètre)
	1/60 ^{ème} (0,02) (capacité de compter les doigts à 1 mètre)	Perception de la lumière
	Pas de perception de la lumière	
	Indéterminée. Dans ce cas : - préciser s'il y a des restes de capacités visuelles - essayer de les quantifier - préciser s'il s'agit de vision de loin ou de près	

• **Présence de trouble(s) associé(s) au déficit visuel : oui ou non**

Si oui, préciser lequel/lesquels :

- Cause du déficit visuel (*accident, vaccin, pathologie visuelle... S'il s'agit d'une pathologie visuelle préciser laquelle*):
.....
.....

- Nombre d'années d'expérience visuelle (si aveugle tardif):
.....

- **Familiarité de l'enfant avec différentes activités:**

Pour connaître la familiarité de votre enfant avec la pratique du dessin, de la lecture en braille et de la lecture d'images tactiles, nous vous demandons d'indiquer sur une échelle, la fréquence de la pratique de ces différentes activités à l'école ou à la maison, en entourant le chiffre qui paraît au mieux correspondre à la situation de votre enfant.

Entourer le chiffre correspondant à la fréquence de la pratique par votre enfant de :

- La lecture en braille à l'école :

1	2	3	4	5
<i>Aucune pratique (jamais)</i>	<i>Pratique rare</i>	<i>1 à 2 fois par mois</i>	<i>1 à 2 fois par semaine</i>	<i>Tous les jours</i>

- La lecture en braille à la maison :

1	2	3	4	5
<i>Aucune pratique (jamais)</i>	<i>Pratique rare</i>	<i>1 à 2 fois par mois</i>	<i>1 à 2 fois par semaine</i>	<i>Tous les jours</i>

- La lecture d'images tactiles à l'école

1	2	3	4	5
<i>Aucune pratique (jamais)</i>	<i>Pratique rare</i>	<i>1 à 2 fois par mois</i>	<i>1 à 2 fois par semaine</i>	<i>Tous les jours</i>

- La lecture d'images tactiles à la maison:

1	2	3	4	5
<i>Aucune pratique (jamais)</i>	<i>Pratique rare</i>	<i>1 à 2 fois par mois</i>	<i>1 à 2 fois par semaine</i>	<i>Tous les jours</i>

- Si votre enfant pratique la lecture en braille, indiquer

- Depuis quel âge :
- Si celle-ci est : Unimanuelle (une seule main) *ou* bimanuelle (les deux mains)

Ajouter toute autre information sur votre enfant qui vous paraît importante :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ANNEXE 3

Texte intégral des histoires lues dans l'expérience princeps en condition « avec histoire »

Planches Bonhomme

« Je vais te raconter l'histoire de Petipoint qui dessine un bonhomme »

- Planche 1 – 2 éléments

« Je pose en haut de la feuille un cercle pour la tête. Et un grand ovale en dessous pour le ventre. »

- Planche 2 – 3 éléments

« Je colle sur le cercle deux petits ronds pour les yeux. Et deux rectangles courts et fins de chaque côté de l'ovale pour les bras. »

- Planche 3 – 5 éléments

« Au-dessus du cercle, je mets quelques bâtons pour les cheveux. Et deux rectangles longs et fins en bas de l'ovale pour les jambes. »

- Planche 4 – 7 éléments

« Je dessine un triangle sous les yeux pour le nez. Et une demi-lune sous le nez pour la bouche. »

- Planche 5 – 8 éléments

« Enfin, deux ronds de chaque côté du visage seront les oreilles. »

Planches Maison

« Je vais te raconter l'histoire de Petipoint qui construit une maison »

- Planche 1 – 2 éléments

« Je pose un grand rectangle au bas de la feuille pour représenter les murs et je colle au dessus un triangle pour représenter le toit. »

- Planche 2 – 3 éléments

« J’installe sur le mur un petit rectangle pour faire la porte et au milieu du mur deux petits carrés pour les fenêtres. »

- Planche 3 –5 éléments

« Sur le toit, un petit rectangle devient la cheminée et je peux aussi mettre de la laine pour imiter la fumée qui sort de la cheminée. »

- Planche 4 –7 éléments

« Du tissu aux fenêtres pour représenter des rideaux, et une poignée à la porte pour entrer dans ma maison. »

Planches âne :

« Je vais te raconter l’histoire d’un petit âne sous le soleil »

- Planche 1 – 3 éléments

« Le soleil se lève dans la plaine, il brille très fort et très haut et il réchauffe deux petites collines. »

- Planche 2 – 5 éléments

« Sur la première colline, il y a un arbre. Et juste à côté, il y a une petite maison. »

- Planche 3 – 7 éléments

« Mais qu’est-ce qu’on entend ? « hi-han, hi-han ».... C’est un petit âne attaché à un piquet sur la 2^{ème} colline. Et sous ce beau soleil, il rêve d’aller gambader loin de son piquet »

« Je vais te raconter l’histoire d’une nuit sur l’océan »

- Planche 1 – 3 éléments

« La nuit est tombée sur l’océan. La lune, toute ronde, fait scintiller la crête des vagues. Il y a même un petit caillou au fond de l’eau qui brille sous les rayons de la lune. »

- Planche 2 – 5 éléments

« Deux étoiles s’illuminent dans le ciel et ... Comme pour leur répondre, deux étoiles de mer font leur apparition dans l’océan. »

- Planche 3 – 7 éléments

« Un poisson aux écailles étincelantes prend possession de l’eau. Et un oiseau au magnifique plumage prend possession des airs. »

ANNEXE 4 Ensemble des réponses plausibles et incorrectes fournies lors de la phase reconnaissance de l'expérience 2 (influence de l'orientation spatiale)

	<i>Plausibles</i>		<i>Erreurs</i>	
Eléphant	Animal Chat Cheval Chien Gorille	Kangourou Mille-pattes Mouton Ours Vache	Bonhomme Fleur Lune Main	Oiseau Personnage Pont
Chien	Animal Chat Eléphant Lapin	Lion Loup Mouton Ours	Etoile Main Oiseau	
Poisson	Tortue		Animal Cheva Etoile Maison	Rivière Sapin Table Zèbre
Oiseau			Chat Cheval Escargot Grenouille	Homme Loup Pelleteuse Pistolet
Tasse	Appareil photo Bague Cadenas Cartable	Miroir Panier Sac	Bougie Lune Fauteuil roulant	Maison Rat Souris
Arrosoir	Panier Pichet Sac		Bougie Clé Cochon Collier Fenêtre Hache Lapin	Lune+fusée Maison Poisson Toboggan Tortue TV Voiture
Hache	Baguette magique Balai* Couteau* Epée Fourche	Fourchette Fusil* Marteau Pelle	Ancre Animal des mers Chaise Clé Hélice	Maison Pantalon Papillon Poisson Os
Brosse à dent	Balai Brosse à cheveux Peigne		Bougie Branche de sapin Fourmis Horloge	Paillason Serpent Vers de terre
Ciseaux			Abeille Bonhomme Couteau Etoile Fleur Marteau Nœud papillon Oiseau	Papillon Poisson Tourniquet Sapin Serpent Soleil Souris
Clé	Cuillère* Balai Brosse	Loupe* Peigne Scie	Animal Balançoire Bougie Éléphant	Fleur Fusée Personnage Poisson
Chaussure			Animal Bateau Brosse à dent Chaise longue Crocodile Hache Pansement Personnage	Poisson Oiseau Rivière Rocher Souris Traineau Visage
Chaise	Echelle		Animal sans tête Arc Cheval Fourche Girafe Hippopotame Lézard	Maison Main Personnage Poisson Serpent Tortue Zèbre

*Changement d'orientation